平成２６年度

課 題 研 究 集 録

岩手県立水沢高等学校理数科

目　次

（1）モンティ・ホール問題を用いたベイズの定理による確率変動
（今野良宜・佐々木修・千田貴大・平間博人）…… 1
（2）螺旋上における素数出現についての一考察
（齋藤歩・村上諒・照井尚香・渡邉美玲）…… 6
（3）黒板消しクリーナーの音を消す方法を探る
（菊地涼・小沢建太郎・小沢真優・津田拓也）……12
（4）二重振り子の動きの解析
（高橋智輝・佐々木北都・若柳弘樹）……18
（5）唾液アミラーゼ活性とストレス
（千葉響平・佐山優花・渡邊美希）……23
（6）金属樹の生成
（長田湧・鈴木大貴・福田将斗・石川葵・佐藤和佳・松本麻結）……28
（7）電池における還元剤の効果について
（菅野裕也・阿部貢己・菊地孝太郎・阿部玖美・伊藤夏歌・山田紗季穂）……31
（8）光と種子発芽に関する研究
―リーフレタス種子発芽における光質、温度および光量子束密度の影響―
（佐藤洸一郎・三浦康介・有住直人・髙橋一生）……34
（9）リンドウ科植物の植物体再生に関する研究
―トルコギキョウおよびエキザカム葉片からのカルス形成―
（及川愛海・門口奈央・住吉恵里香・羽生田湖春）……43
(10) 太陽光による紙の発火点の算出
（上野雄大・佐藤廉・髙橋宏典・齋藤紅季・千田美穂）……51

平成24年度入学生の理数科生徒43名が、平成25年度から26年度にわたり学校設定科目「サイエンス・プロジェクトⅠ・Ⅱ」で実施した課題研究の成果をまとめたものである。

モンティ・ホール問題を用いたベイズの定理による確率変動

岩手県立水沢高校理数科３年
今野良宜　佐々木修　千田貴大　平間博人

The change of the probability on Monty Hall Problem

Yoshinobu KONNO, Shu SASAKI, Takahiro CHIDA , Hiroto HIRAMA

ABSTRACT

The Monty Hall Problem is a problem of a conditional probability by using Bayes' theorem. We got interested in it, and wanted to solve it by ourselves. We added the conditions of increasing the number of doors, changing a choice, opening a door, and increasing the number of trials. As a result, we consider that the causes are the probability that the door is opened, a timing of changing, and repeating the same operation. Also, the probability continues changing when we repeat the same operation. We find more search is necessary. We mention the assignment not only to find the probability distribution of a regular probability but also to express it with formulas.

Key Word

equally likely, actual probability, apparent probability, Bayes' theorem, Monty Hall Problem

モンティ・ホール問題 ベイズの定理 確率変動 選択 変更

1. はじめに

動機

簡単な操作を加えることによって確率が変動するモンティ・ホール問題を不思議に思った。また，そこに魅力を感じ，興味を持ち始め，自分たちの力で解明，研究，発展させたいと感じ，活動を始めた。

仮説

扉の枚数を増やして順に開け，扉を変更し続けた場合，選ぶ扉を変更し続ければ当たる確率が，徐々に高まるのではないか。

研究目的

・見た目で感じる確率と条件を加えたことによる実際の確率の違いを明確にする

・数学的考え方を日常にもたらす

2. 研究方法

モンティ・ホール問題

＜イ＞ 3 面の扉の裏に｛当たり，はずれ，はずれ｝がランダムに入っている。

＜ロ＞ 客は扉を 1 面選ぶ。司会は残りの扉のうち 1 面を必ず開ける。司会の開ける扉は，必ずはずれの扉である。

＜ハ＞ 司会は客に扉を選び直して良いと

必ず言う。

＜ニ＞ 扉を選び直した方が得か，＜ロ＞で選んだ扉のままの方が得か。

この問題を用いて以下の推論を展開した。扉の面数を n 面とし，当たりの面数を 1 面とする時，以下の 4 つをベイズの定理を用いて推論した。また，扉の名称を A, B, C, … とする。

Case. 1 客が 1 面選び，司会が選択された扉と当たりの扉以外の扉を 1 面開けた時，残りの (n-1) 面のそれぞれの扉から当たりが出る確率。

Case. 2 客が 1 面選び，司会が選択された扉と当たりの扉以外の扉のうち k 面を同時に開けた時，残りの (n-k) 面のそれぞれの扉から当たりが出る確率。

Case. 3 客が 1 面選び，司会が 1 面開ける操作をそれぞれ繰り返す。その時それぞれの扉から当たりが出る確率。

Case. 4 Case. 3 に，「開けた扉を閉め直し，司会は再度その扉を開けることが出来る」という条件を加えた時の確率。この時，「客が扉の選択を変更し続け，司会が同じ扉を開け続ける」場合と，「客が同じ扉を選択し続け，司会が同じ扉を開け続ける」つまり「同じ操作を繰り返す」場合の 2 通りを考えた。

3. 結果

Case. 1 客が＜ロ＞で選んだ扉が当たりである確率は 1/n 。それ以外の (n-2) 面が当たりである確率はそれぞれ (n-1) /n (n-2)。従って，選択する扉を変更すると，当たる確率が 1/n (n-2) だけ高くなる。

Case. 2 客が＜ロ＞で選んだ扉が当たりである確率は 1/n 。それ以外の (n-k-1) 面が当たりである確率は (n-1) /n (n-k-1)。よって選択する扉を変更すると，当たる確率が k/n (n-k-1) だけ高くなる。

Case. 3 n=4, 5 の時を考えた。 n=4 の場合では 3 種類の結果が，n=5 の場合では，12 種類の結果が出た。最後に扉を変更した場合の確率は必ず 1/2 以上になった。最小値は扉を一度も変更しない場合で，最大値は最後にのみ扉を変更する場合である。最小値は 1/n で，最大値は (n-1) /n と言える。これらの結果，最後のみ扉を変更する場合の確率が最も高くなった。また，扉を変更した場合，必ず変更前よりも確率が高くなった。原問題でも同様のことが言える。

ベイズの定理を用いた原問題の分析(扉３面)

	The door can be opened			The initial distribution
correct	A	B	C	
A				
B	$P(B \mid A)$			$P(A)$
C				
SUM				1

$P(B)$

	The player chose door A			The initial distribution
correct	A	B	C	
A		1/6	1/6	1/3
B			1/3	1/3
C		1/3		1/3
SUM		1/2	1/2	1

	The door opened		
correct	A	B	C
A		1/3	1/3
B			2/3
C		2/3	

扉 B, C のいずれが開かれた場合でも確率分布は同じ。つまり，最初に選んだ扉が当たりの確率は 1/3 で，選択する扉を変更するとその扉が当たりの確率は 2/3 である。

以下，確率分布を横に表す。

The case of 4 doors

1The player chose door A, and the host opened the door B.

A	B	C	D
1/4	0	3/8	3/8

2-1 The player chose door A, and the host opened the door C.

A	B	C	D
1/4	0	0	3/4

2-2 The player chose door C, and the host opened the door A.

A	B	C	D
0	0	1/3	2/3

2-3 The player chose door C, and the host opened the door D.

A	B	C	D
4/7	0	3/7	0

The case of 5 doors

1The player chose door A, and the host opened the door B.

A	B	C	D	E
1/5	0	4/15	4/15	4/15

2-1 The player chose door A again, and the host opened the door C.

A	B	C	D	E
1/5	0	0	2/5	2/5

2-2 The player chose door C, and the host opened the door A.

A	B	C	D	E
0	0	1/4	3/8	3/8

2-3 The player chose door C, and the host opened the door D.

A	B	C	D	E
9/29	0	8/29	0	12/29

2-1 The player chose door A again, and the host opened the door C.

A	B	C	D	E
1/5	0	0	2/5	2/5

3-1 The player chose door A again and again, and the host opened the door D

A	B	C	D	E
1/5	0	0	0	4/5

3-2 The player chose door D, and the host opened the door A.

A	B	C	D	E
0	0	0	1/3	2/3

3-3 The player chose door D, and the host opened the door E.

A	B	C	D	E
1/2	0	0	1/2	0

2-2 The player chose door C, and the host opened the door A.

A	B	C	D	E
0	0	1/4	3/8	3/8

3-1 The player chose door C again, and the host opened the door D.

A	B	C	D	E
0	0	1/4	0	3/4

3-2 The player chose door D, and the host opened the door C.

A	B	C	D	E
0	0	0	1/3	2/3

3-3 The player chose door D, and the host opened the door E.

A	B	C	D	E
0	0	4/7	3/7	0

2-3 The player chose door C, and the host opened the door D.

A	B	C	D	E
9/29	0	8/29	0	12/29

3-1 The player chose door C again, and the host opened the door A.

A	B	C	D	E
0	0	1/4	0	3/4

3-2 The player chose door C again, and the host opened the door E.

A	B	C	D	E
9/13	0	4/13	0	0

3-3 The player were back door A, and the host opened the door C.

A	B	C	D	E
3/11	0	0	0	8/11

3-4 The player were back door A, and the host opened the door E.

A	B	C	D	E
9/25	0	16/25	0	0

3-5 The player chose door E, and the host opened the door A.

A	B	C	D	E
0	0	4/7	0	3/7

3-6 The player chose door E, and the host opened the door C.

A	B	C	D	E
3/5	0	0	0	2/5

Case. 4 「客が扉の選択を変更し続け，司会が同じ扉を開け続ける」場合では，確率に規則性は見つけられなかったが，確率の変動は確実に起こっていた。また，「同じ操作を繰り返す」場合では，選んだ扉が当たる確率は徐々に減っていった。

The player chose the door A, and the host opened the door B, then the host closed the door B

A	B	C	D
1/4	0	3/8	3/8

↓

2 They did the same operation 1.

A	B	C	D
2/11	0	9/22	9/22

↓

3 They did the same operation 1.

A	B	C	D
4/31	0	27/62	27/62

↓

4 They did the same operation 1.

A	B	C	D
8/89	0	81/178	81/178

1 The player chose the door A, and the host opened the door B, then the host closed the door B.

A	B	C	D
1/4	0	3/8	3/8

↓

2 The player chose the door C, and the host opened the door B, then the host closed the door B.

A	B	C	D
2/7	0	2/7	3/7

↓

3 The player chose the door D, and the host opened the door B, then the host closed the door B.

A	B	C	D
1/3	0	1/3	1/3

↓

4 The player chose the door A, and the host opened the door B, then the host closed the door B.

A	B	C	D
1/4	0	3/8	3/8

4. 考察

このように確率が変わっていく理由は，扉が開けられる確率が同様に確からしくなくなるからだと考える。また，私たちは，「最終選択変更時にのみ選んだ扉を変更すると，その扉が当たりである確率が最も高くなる」「選択を変更し続けてもその行動によって得られる確率は最も高いわけではないが，最終選択変更時に変更をすると 1/2 以上の確率を得られる。よって，仮説は部分的に当たっていた」と考察した。扉の数が増えることで確率の種類は増えるが，扉が一枚増えるごとに何種類増えるかは不明。また，なぜ様々な確率になるのかも不明なので，今後はこの二点を発展させたい。

5. まとめ

推論の結果から，見た目で感じる確率と条件を加えたことによる実際の確率は違うということが分かった。条件を重ねること，目に見えない条件を考慮することが確率の変動の理由だと考えられる。さらに，Case. 4 から，同じ操作を繰り返した場合でも確率が変動し続けたため，見た目で感じる確率と実際の確率は違う，ということが言える。

6. 参考文献

西内啓 (2013) :統計学が最強の学問である，ダイヤモンド社, 320

秋山仁，松永清子(2010)，数学に恋したくなる話，PHP 研究所，252

涌井良幸，涌井貞美 (2010) ， Excel でスッキリわかるベイズ統計入門，日本実業出版社，232)

DOFI（2006），モンティホールジレンマ，
http://ishi.blog2.fc2.com/blog-entry-182.html

螺旋上における素数出現についての一考察

岩手県立水沢高等学校理数科 3 年
齋藤歩　村上諒　照井尚香　渡邉美玲

About the Regularity of the prime Numbers on the spiral

Ayumu Saito　Ryo Murakami　Naoka Terui　Mirei Watanabe

ABSTRACT

The spiral of Ulam is the spiral on which natural numbers are placed in a spiral and only prime numbers are marked. On the spiral of Ulam, many prime numbers appear diagonally and prime numbers form a characteristic pattern. We researched why prime numbers make characteristic patterns on the spiral of Ulam. We substituted numbers 3l, 3l+1, and 3l+2 for each progression on the spiral of Ulam. As a result, we found that progressions without multiples of 3 tend to have high rate of containing prime numbers and progressions which do not include multiples of 3 appear every 3 lines. Since the appearance of progressions without multiples of 3 has certain regularity, we considered the spiral of Ulam makes a lattice pattern.

Keywords
Spiral of Ulam, Multiples of 3, Prime numbers, Progression, Odd number

1. はじめに

素数とは，1と自分自身の数以外に正の約数を持たない自然数のことである。現在のところ素数の出現の規則性について明らかにされていない。しかし，ウラムの螺旋（四角マス上に自然数を螺旋状に配列し，素数のみを塗りつぶしたもの（Fig. 1））においては，素数が斜め方向に多く出現するように見え，格子状の模様が現れる。

私たちは，出現の規則性の明らかにされていない素数が，ウラムの螺旋上では，格子状に多く表れるという傾向があることに興味を持ち，この傾向が現れる理由を明らかにするため，研究を行った。

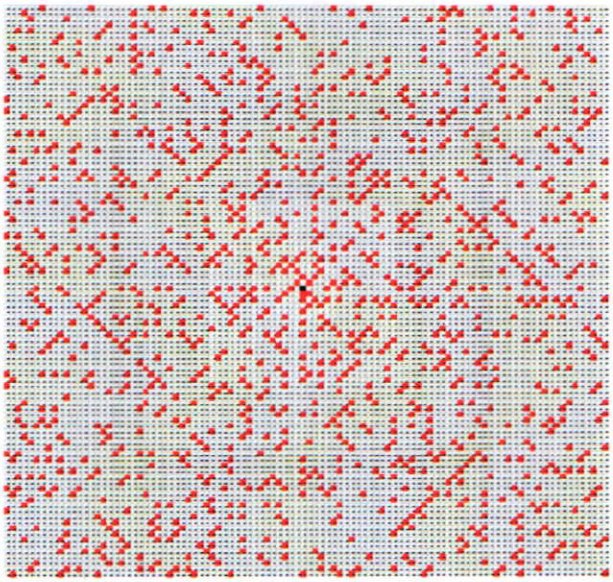


Fig. 1 the spiral of Ulam

まず，ウラムの螺旋の基本的性質について

確認する。ウラムの螺旋上で各マスの対角線方向の列では，奇数のみ，偶数のみが含まれる列に分類される（ Fig. 2 ）。

43	42	41	40	39	38	37
44	21	20	19	18	17	36
45	22	7	6	5	16	35
46	23	8	1	4	15	34
47	24	9	2	3	14	33
48	25	10	11	12	13	32
49	26	27	28	29	30	31

Fig. 2 : odd numbers : even numbers

ここで各数の配列の仕方について着目する。ウラムの螺旋上で中心の 1 を通る 45° の直線を境として，各マスの対角線方向の列についてみると，それぞれ小さい数から大きい数へ，左上および右下方向に並んでいる（ Fig. 3 ）。また，同様に 1 を通る 135° の直線を境とした場合)，左下および右上方向に数が配列されている（ Fig. 4 ）。以下, それぞれを「左上がり」,「右下がり」,「左下がり」,「右上がり」の数列と表記する。

以上より，ウラムの螺旋上では，奇数のみ，偶数のみが現れる列に分けられ，その列は数列としてみることができる。そして素数が現れるのは奇数のみが含まれる列だけであるので，奇数のみが現れる対角線方向の直線について着目し，その直線を 1 つの数列として考えた。

私たちは，ウラムの螺旋上のそれぞれの数列には，素数が出やすい数列と出にくい数列とがあり，それらが規則的に表れることで格子状に素数が現れるのではないかと考え研究を行った。

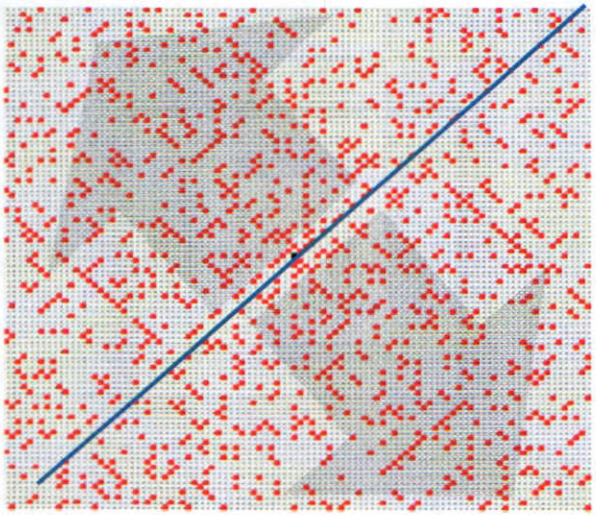


Fig. 3

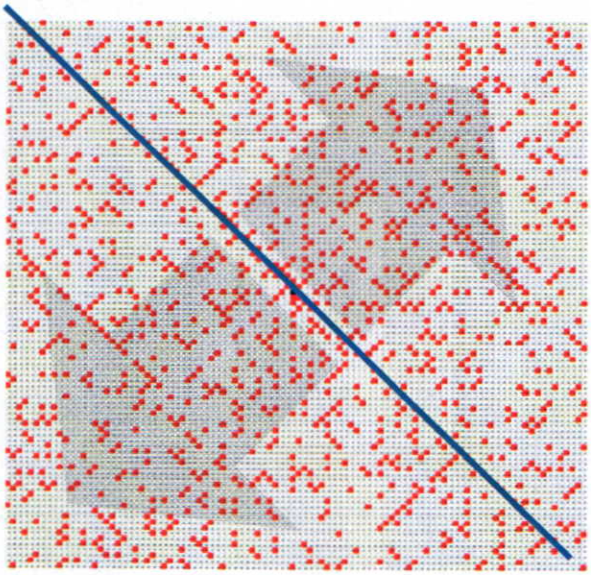


Fig. 4

2. 研究方法

2. 1 ウラムの螺旋の製作

Excel を用いて，自然数を反時計回りで螺旋状に配列した。その際マクロ機能を用いたが，ソースコードは朋友学園高等学校理科学同好会の作成したものを参考にした。

その後，フリーソフトを用いて素数のみを塗りつぶした。

2. 2 各直線における数列の一般項の立式化

「左上がり」,「右下がり」,「左下がり」,「右上がり」の数列について，それぞれ 10 個の数列の一般項を階差数列を用いて求めた。ここに一例を示す(右上がりの数列の場合)。

1 ， 5 ， 17 ， 37 ， 65 ， 101 …

という数列 $\{a_n\}$ の一般項 a_n を求める。

数列 $\{a_n\}$ の階差数列 $\{b_n\}$ は

4 ， 12 ， 20 ， 28 ， 36 ， …

となり，

初項 4 ，公差 8 の等差数列であるから

$$b_n = 4 + (n - 1) * 8$$
$$= 8n - 4$$

よって，数列 $\{a_n\}$ の一般項 a_n は

$n \geqq 2$ のとき，

$$a_n = 1 + \sum_{k=1}^{n-1} b_k$$
$$= 4n^2 - 8n + 5$$

($n = 1$ のときも成り立つ)

同様にして，各数列の一般項を求めた。

2. 3 数列内に含まれる素数の個数の判定方法

私たちは，それぞれの数列について，「ある自然数 m の倍数の項を持つ数列より，m の倍数の項を持たない数列の方が，数列中に素数が多く含まれる」と考えた。そこで数列中のすべての項について，m の倍数かどうかを調べた。

任意の数列 $\{c_n\}$ における，すべての項は

$$n = mk, mk + 1, mk + 2, \cdots,$$
$$mk + (m - 1)$$

ただし $k = 0$ ， 1 ， 2 ， …

を代入したときに求められる。よって,数列 $\{c_n\}$ のすべての項は， m 個のパターンに分類されることがわかる。

したがって，c_{mk} ，c_{mk+1} ，… ，$c_{mk+(m-1)}$ の m 個の項について m で割ったときの余りで場合分けをすることによって，数列 $\{c_n\}$ が m の倍数の項を持つかどうかの判定をすることができる。

私たちは，研究の手始めとして，数列内に 3 の倍数の項を含む数列より，3 の倍数の項を含まない数列のほうが，数列内に素数が多く含まれると考えた。そこで，数列が 3 の倍数を持つかどうかを調べることによって，数列内に素数がどれくらい多く含まれるのかの指標とした。

$3l$ ， $3l+1$ ， $3l+2$

ただし $l = 0$ ， 1 ， 2 ，…

とし，この 3 つの数を各一般項に代入した。計算の簡略化のために，この 3 数をあらかじめ二乗し 3 で割った時の余りを求めておいた。出てきた項を 3 で割って余りが出た数列と出ない数列に分類した。

2. 4 確認

上記の指標が正しいかどうかの確認をするために，各数列の初項から第 100 項までのうち，素数が含まれる割合を調べる。

2. 5 調査

素数が多く含まれる数列とあまり含まれない数列が，どのようにウラムの螺旋上に配列されるのか調べる。

3. 結果

次の 1 から 40 番までの数列について調べた（ Fig. 5 ）。

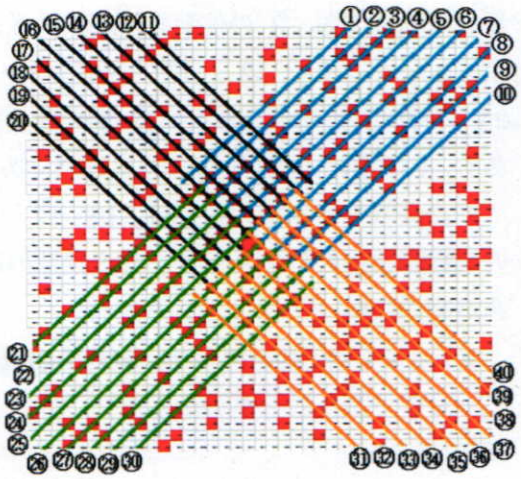


Fig. 5 Progressions on the spiral of Ulam

数列が 3 の倍数を含むのかどうかをまとめた表を示す（ table 1～4 ）。表中の 0 , 1 , 2 は数を代入して出てきた項を 3 で割った余りである。

	a general terms	(1)n=3ℓ, n^2=3k	(2) n=3ℓ+1, n^2=3k+1	(3) n=3ℓ+2, n^2=3k+1
1	$4n^2+32n+75$	0	0	2
2	$4n^2+24n+45$	0	1	1
3	$4n^2+16n+23$	1	1	2
4	$4n^2+8n+9$	0	0	2
5	$4n^2+3$	0	1	1
6	$4n^2-8n+5$	2	1	2
7	$4n^2-1$	2	0	0
8	$4n^2+8n+1$	1	1	0
9	$4n^2+16n+11$	2	1	2
10	$4n^2+24n+29$	2	0	0

Table 1-1 upward to the right

	a general terms	whether lines have multiples of 3 or not	rate (in 100 numbers %)
1	$4n^2+32n+75$	multiples of 3	15
2	$4n^2+24n+45$	multiples of 3	25
3	$4n^2+16n+23$	without multiples of 3	50
4	$4n^2+8n+9$	multiples of 3	21
5	$4n^2+3$	multiples of 3	29
6	$4n^2-8n+5$	without multiples of 3	33
7	$4n^2-1$	multiples of 3	1
8	$4n^2+8n+1$	multiples of 3	35
9	$4n^2+16n+11$	without multiples of 3	41
10	$4n^2+24n+29$	multiples of 3	29

Table 1-2 the rate of prime number table 1-1

	a general terms	(1)n=3ℓ, n^2=3k	(2) n=3ℓ+1, n^2=3k+1	(3) n=3ℓ+2, n^2=3k+1
11	$4n^2+34n+63$	0	2	0
12	$4n^2+26n+35$	2	2	1
13	$4n^2+18n+15$	0	1	1
14	$4n^2+10n+3$	0	2	0
15	$4n^2+2n-1$	2	2	1
16	$4n^2-6n+3$	0	1	1
17	$4n^2+2n+3$	0	0	2
18	$4n^2+10n+11$	2	1	2
19	$4n^2+18n+27$	0	1	1
20	$4n^2+26n+51$	0	0	2

Table 2-1 upward to the left

	a general terms	whether lines have multiples of 3 or not	rate (in 100 numbers %)
11	$4n^2+34n+63$	multiples of 3	14
12	$4n^2+26n+35$	without multiples of 3	26
13	$4n^2+18n+15$	multiples of 3	21
14	$4n^2+10n+3$	multiples of 3	19
15	$4n^2+2n-1$	without multiples of 3	48
16	$4n^2-6n+3$	multiples of 3	36
17	$4n^2+2n+3$	multiples of 3	9
18	$4n^2+10n+11$	without multiples of 3	27
19	$4n^2+18n+27$	multiples of 3	22
20	$4n^2+26n+51$	multiples of 3	13

Table 2-2 the rate of prime number of table 2-1

	a general terms	(1)n=3ℓ, n^2=3k	(2) n=3ℓ+1, n^2=3k+1	(3) n=3ℓ+2, n^2=3k+1
21	$4n^2+36n+71$	2	0	0
22	$4n^2+28n+41$	2	1	2
23	$4n^2+20n+19$	1	1	0
24	$4n^2+12n+5$	2	0	0
25	$4n^2+4n-1$	2	1	2
26	$4n^2-4n+1$	1	1	0
27	$4n^2-4n+3$	0	0	2
28	$4n^2+4n+5$	2	1	2
29	$4n^2+12n+15$	0	1	1
30	$4n^2+20n+33$	0	0	2

Table 3-1 downward to the left

	a general terms	whether lines have multiples of 3 or not	rate (in 100 numbers %)
21	$4n^2+36n+71$	multiples of 3	15
22	$4n^2+28n+41$	without multiples of 3	44
23	$4n^2+20n+19$	multiples of 3	29
24	$4n^2+12n+5$	multiples of 3	0
25	$4n^2+4n-1$	without multiples of 3	43
26	$4n^2-4n+1$	multiples of 3	0
27	$4n^2-4n+3$	multiples of 3	17
28	$4n^2+4n+5$	without multiples of 3	34
29	$4n^2+12n+15$	multiples of 3	18
30	$4n^2+20n+33$	multiples of 3	18

Table 3-2 the rate of prime number of table 3-1

	a general terms	(1) $n=3\ell$, $n^2=3k$	(2) $n=3\ell+1$, $n^2=3k+1$	(3) $n=3\ell+2$, $n^2=3k+1$
31	$4n^2+38n+81$	0	0	2
32	$4n^2+30n+49$	1	2	2
33	$4n^2+22n+25$	1	0	1
34	$4n^2+14n+9$	0	0	2
35	$4n^2+6n+1$	1	2	2
36	$4n^2-10n+7$	1	1	0
37	$4n^2-2n+3$	0	2	0
38	$4n^2+6n+7$	1	2	2
39	$4n^2+14n+19$	1	1	0
40	$4n^2+22n+39$	0	2	0

Table 4-1 downward to the right

	a general terms	whether lines have multiples of 3 or not	rate (in 100 numbers %)
31	$4n^2+38n+81$	multiples of 3	17
32	$4n^2+30n+49$	without multiples of 3	29
33	$4n^2+22n+25$	multiples of 3	21
34	$4n^2+14n+9$	multiples of 3	20
35	$4n^2+6n+1$	without multiples of 3	41
36	$4n^2-10n+7$	multiples of 3	32
37	$4n^2-2n+3$	multiples of 3	11
38	$4n^2+6n+7$	without multiples of 3	25
39	$4n^2+14n+19$	multiples of 3	28
40	$4n^2+22n+39$	multiples of 3	13

Table 4-2 the rate of prime number of table 4-1

Table 1 ～ Table 4 より，1 番から 40 番の数列のうち，3 の倍数を含まない数列は，3 ，6 ，9 ，12 ，15 ，18 ，22 ，25 ， 28 ， 32 ， 35 ， 38 番の数列である。その他は 3 の倍数を含む数列である。

3 の倍数を含まない数列は，隣り合う 3 の倍数を含む数列よりも含まれる素数の割合が高い傾向にあることが分かった。

また，3 の倍数を含まない数列の出現は二つおきであることが分かった。

4. 考察

Table 1 ～ Table 4 より，数列に 3 の倍数を含まない数列，つまり素数を多く含む数列の出現が二つおきであり，それらは原点を中心とした斜め四方向の直線上の数字を初項として無限にとれるので，格子模様ができるのではないかと考えた。下図（ Fig. 6 ）の中心を斜めに通る列上の数が初項で，黒が 3 の倍数を含まない，つまり素数の現れる割合が高い数列である。

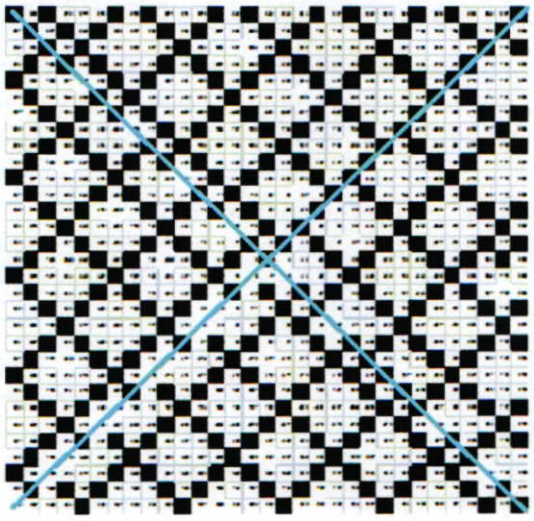


Fig. 6

今後の課題としてはさらに詳しく規則性を探るために， 3 の倍数だけでなく，5 の倍数や 7 の倍数の剰余類でも調べていくことがあげられる。

5. 結論

ウラムの螺旋上で，斜めに数列をとったときに，素数の出やすい数列と出にくい数列が規則的に出現するため，素数は格子状に現れる傾向があるといえる。

参考文献

朋優学院高等学校理工学部ブログ(2011)：ウラムの螺旋，
http://www.ho-yu.ed.jp/hoyublog/science/2011/11/08/

岡安清隆（ 2010 ）：sosu.exe，
http://kiyopon.sakura.ne.jp/soft/sosu.htm#「素数の色塗り」の説明

黒板消しクリーナーの音を消す方法を探る

岩手県立水沢高等学校理数科３年
菊地涼　小沢建太郎　小沢真優　津田拓也

How to Mute the Sound of Vacuum Eraser Cleaners

Ryo KIKUCHI, Kentaro OZAWA, Masahiro OZAWA, Takuya TSUDA

ABSTRACT

We searched necessary conditions to mute the sound of vacuum eraser cleaners. We found amplitude of sound is canceled by playing its anti-phase sound, and we decided to mute the sound by using this sound property. When the anti-phase sound was played, the noise level in the room decreased significantly. This is because the noise level of monotones of 190 Hz and 500 Hz decreased significantly and the level of 10,400 Hz decreased significantly by the shielding effect, which the noise level decreases by one speaker located in front of the other speaker.

Key words: anti-phase sound, power spectral density, sound pressure level, noise level, shielding effect

1. はじめに

私たちはノイズキャンセリングイヤホンで用いられているようなノイズを消す仕組みについて興味を持った。理論上はノイズの音とその逆位相の音を重ね合わせることでノイズが消えるということが分かっている(國友ら, 2012)。しかし私たちが生活する環境の中で，どのように音を出したら効果的にノイズの音を消せるのかについてはよく分っていない。そこで静かな環境を作ることを目的として，教室で使用する黒板消しクリーナーの音(以下クリーナー音とする)を消す方法について研究を行った。本研究では，教室内でクリーナー音を消すためにはどのような条件が必要なのか調べた。

2. 黒板消しクリーナーの音の周波数成分の特定と逆位相音を流す前後でのパワースペクトル密度の変化

2.1 実験方法と仮説

本実験の前に小さなパソコン用スピーカーを用いて，どのように逆位相音を流すとクリーナー音が消えるのか簡易な実験を行った。その結果，クリーナー音を出すスピーカーの上から逆位相音を出すと低音のノイズが小さくなるように聞こえた。そこで私たちは，クリーナー音の上から逆位相音を出すとノイズが小さくなり，そのノイズは高音部よりも低音部が小さくなりやすいという仮説を立てた。

まず，クリーナーからどのような音が出ているのか確かめるため，録音したクリーナー音からパワースペクトル密度を求め，その値が大きい周波数帯を調べた。

使用した黒板消しクリーナーは Panasonic MC–330EP で，録音機器として Handy Recorder ZOOM H2n を用いた。録音時のサンプリング周波数は 44.1 kHz，量子化ビット数は 16 bit である。得られた音声データを基に，コードリウム製の音声編集ソフト SoundEngine Free を用いて逆位相音を作成した。

次に，クリーナー音と逆位相音を同時に再生したときの音の変化を調べた。その際，逆位相音を再生する場所で，クリーナー音と逆位相音の合成音がどのように変化するか調べるため，教室の右前方にクリーナー音を再生

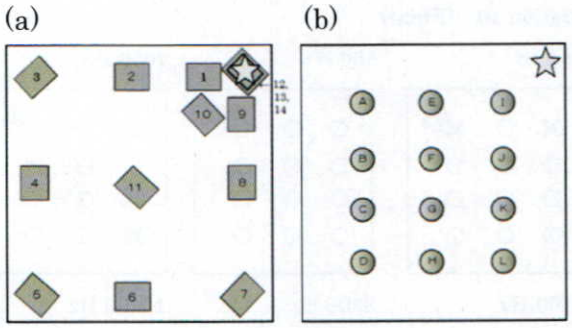


Fig. 1 (a) The point at which the sound of a cleaner is played (denoted by asterisks) and the point at which the sound of anti-phase sound is played (denoted by squares). (b) The point at which the sound of recorder is played (denoted by circles).

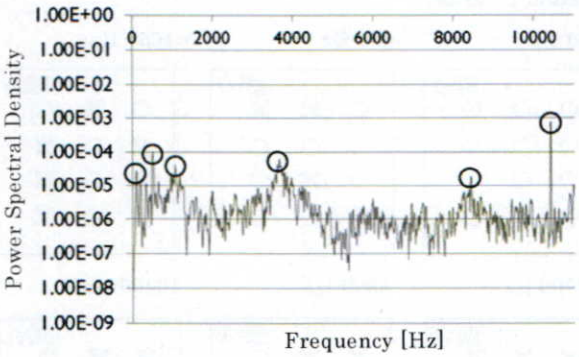


Fig. 2 The power spectral density of the sound of a cleaner which was recorded near the cleaner. Circles show the main components of the sound of a cleaner.

する場所を固定し，逆位相音を 14 か所から再生した（Fig. 1 (a) ）。その時，教室内の 12 測点（Fig. 1 (b) ）で同位相音と逆位相音の再生前後に，パワースペクトル密度がどのように変化するか調べた。

2.2 実験結果

クリーナー音にはパワースペクトル密度が大きい周波数帯の音が 6 種類存在していることが分かった。具体的には 190, 500, 1050, 3700, 8500, 10400 Hz 付近であり，本実験ではこれらの周波数の音がクリーナー音の主成分であるとする（Fig. 2)。

クリーナー音とその逆位相音を同時に流したときに録音した音のパワースペクトル密度は，周波数ごとに異なった変化をしていた。パワースペクトル密度の比較から，逆位相音を流す位置が，クリーナー音の再生位置の横，向かい，上側（Fig. 1 (a) の 1 番，10 番，12 番の位置）のときに，逆位相音の再生前よりパワースペクトル密度が小さくなっていた（図は示さない)。

次に，逆位相音を流す位置をクリーナー音の横，向かい，上側にしたときに，逆位相音を再生する前後でパワースペクトル密度がどのように変化したか測点ごとに調べた（Figs. 3–5)。その結果，高周波成分（3700 Hz, 8500 Hz, 10400 Hz）は，逆位相音を再生する前に比べて再生後はパワースペクトル密度の値が大きくなり，逆位相音を流す場所を変えても同じ結果が得られた。しかし，逆位相音の再生場所を，クリーナー音を流す位置の横にしたときは 190 Hz と 500 Hz の音が再生前より小さくなり（Fig. 3)，向かいにしたときは 190 Hz, 500 Hz, 1050 Hz の音のパワースペクトル密度が小さくなった（Fig. 4)。また上にした時は 190 Hz でパワースペクトル密度が小さくなった（Fig. 5)。よって，逆位相音を流した場合，パワースペクトル密度が最も小さくなるのは，逆位相音を流す位置を，クリーナー音を流す位置の向かい側にしたときであることが分かった。そこで，これ以降の実験では，逆位相音をクリーナー音の向かい側から流すこととする。

また，スピーカーをノイズ源の真上に平行に設置したときは 190 Hz と 500 Hz の低周波の音でパワースペクトル密度の減少が確認できたが，それ以外の音のパワースペクトル密度は増加していた。特に，10400 Hz の音では数百倍にまで増加した測点があった。しかし，耳に聞こえる音は全体的に小さくなっているように感じた。

2.3 考察

パワースペクトル密度が大きくなっても，音を聞いた感覚に大きな変化は感じられなかった。これは音の大きさの比較にパワースペクトル密度を用いたためではないかと考えられる。そこで人の音の聞こえ方を表す等ラウドネス曲線を Fig. 6 に示す。この図より周波数によって人が聞く音の聞こえやすさには違いがあるということがわかる。このことから，パワースペクトル密度を用いた比較では，

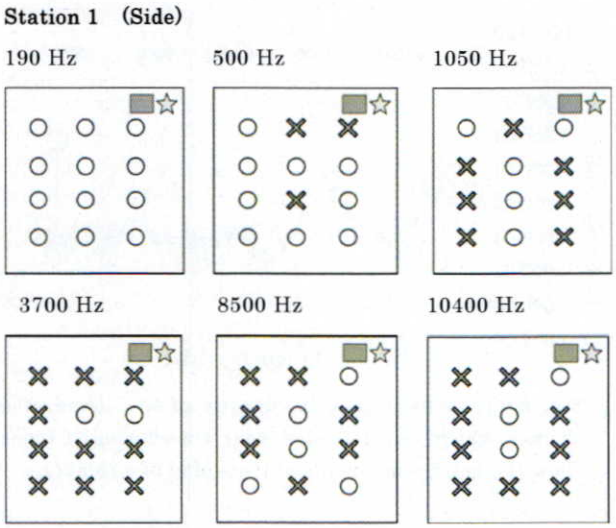


Fig. 3 The change of the power spectral density before and after the sound of a cleaner was played. The power spectral density decreased after the anti-phase sound was played at each observation station denoted by circles in the figure and it increased at the point denoted by crosses (rounded off the first decimal place).

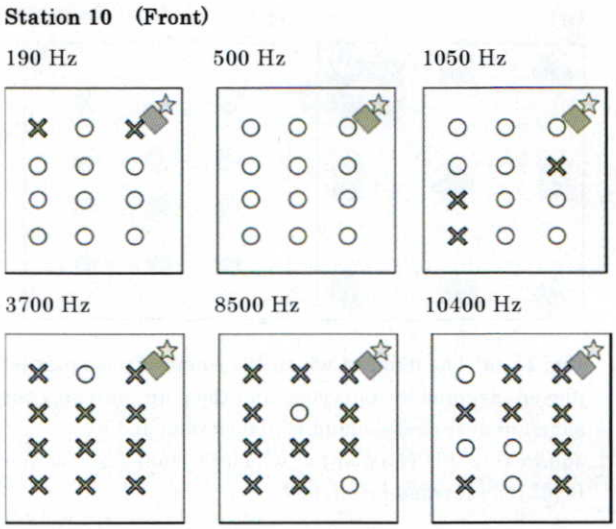


Fig. 4 As seen Fig. 3 except for the speaker in the station 10

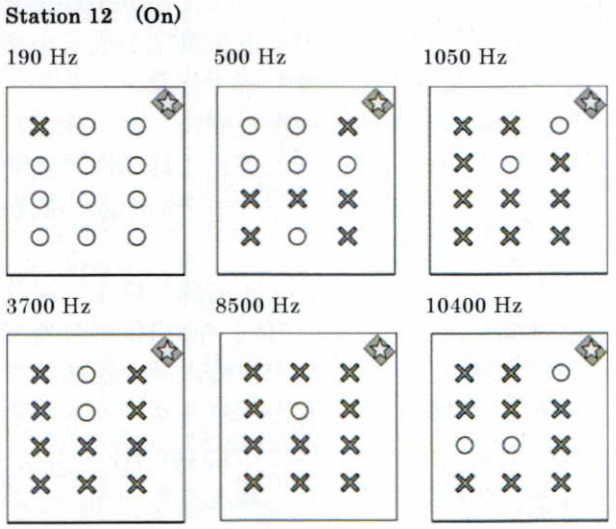


Fig. 5 As seen Fig. 3 except for the speaker in the station 12

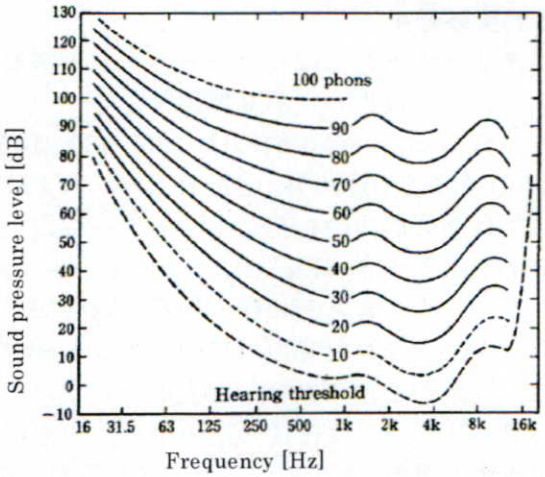


Fig. 6 Equal loudness curve (Suzuki, *et al*, 2004)

人間が聞いている音の大きさを適切に表すことができないのではないかと考え，次の実験から人が聞く音の大きさを表す騒音レベルを測定して，逆位相音の再生前後の変化について調べる。

3. 逆位相音を流す前後での騒音レベルの変化

3.1 実験方法

騒音レベルについても，基本的に 2 節と同じ条件で実験を行った。異なる部分は三点あり，一点目は再生位置をクリーナーの向かいに固定した部分，二点目は再生する音をクリーナー音に加えてクリーナー音の主成分である 6 種類の単音をコンピュータ上で作成して使用した部分，三点目は騒音計を用いて逆位相音を流す前後での騒音レベルを測定した部分である。使用した騒音計は，Wensn

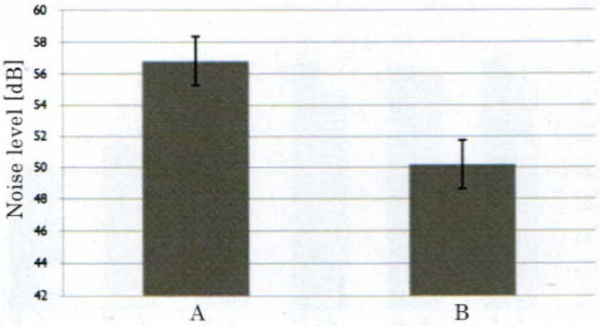


Fig. 7 The mean value of the noise level before and after the sound of a cleaner was played. "A" shows the value before the anti-phase sound was played and "B" shows the value after the sound was played. The error bars show standard deviations.

DS–HWECJ02 である。騒音レベルの定義式を以下に示す（小野測器，2014）。音圧レベルと同じ式が用いられている。

$$L_A = 20\,log\frac{p}{p_0} \cdot \cdot \cdot (1)$$

L_A [dB]：音圧レベル

p [Pa]：測定された音の（瞬時）音圧の実効値

p_0 [Pa]：基準となる音圧（p_0 = 20 μPa）

3.2 実験結果

クリーナー音とその逆位相音を再生したとき，逆位相音再生前後での騒音レベルを定量的に比較するため，各測点で測定値の平均値を求めた。その結果，再生前に比べて再生後の騒音レベルは約 7 dB 有意に減少した（Fig. 7）。（1）式より，騒音レベルが 7 dB 減少したときに，人に聞こえる音の大きさは約半分になるということが分かる。

また，各周波数の単音について同様に比較すると，逆位相音を向かい側から流したとき，2.2 節で述べたパワースペクトル密度の変化と同様に，190 Hz と 500 Hz 音の騒音レベルは全体的に減少傾向にあったが，それ以外の単音の騒音レベルにはほとんど変化がないか，もしくは増加傾向にあった（Fig. 8）。低周波音の騒音レベルは減少しやすい傾向にあることが分かった。

ここで，各測点での測定値の平均値を求め，逆位相音の再生前後における騒音レベルを定量的に比較した。その結果，190 Hz と 500 Hz

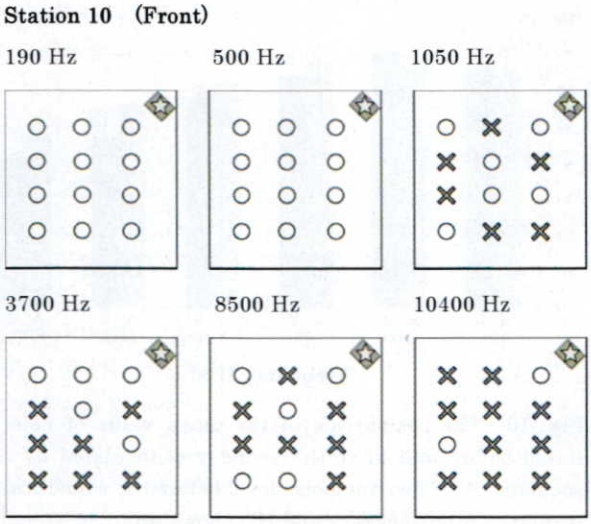


Fig. 8 The change of noise levels before and after the anti-phase sound was played.

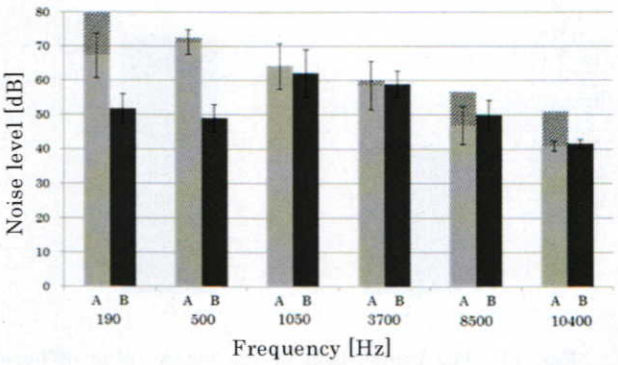


Fig. 9 This Format except for the mean values is the same as Fig. 6. Shaded areas show sound pressure levels when correction by the equal loudness curves is disregarded.

の音は騒音レベルが有意に減少したが，それら以外の周波数の音の騒音レベルはほとんど変化がないか上昇傾向にあった（Fig. 9）。以上より，1050 Hz, 3700 Hz, 8500 Hz, 10400 Hz の音の騒音レベルは減少していなかったものの，クリーナー音の騒音レベルは有意に減少していることが分かった。これは 190 Hz と 500 Hz の騒音レベルが有意に減少したからだと考えられる。

4. 議論

4.1 遮蔽効果について

3 節で行った実験では，スピーカーを向かい

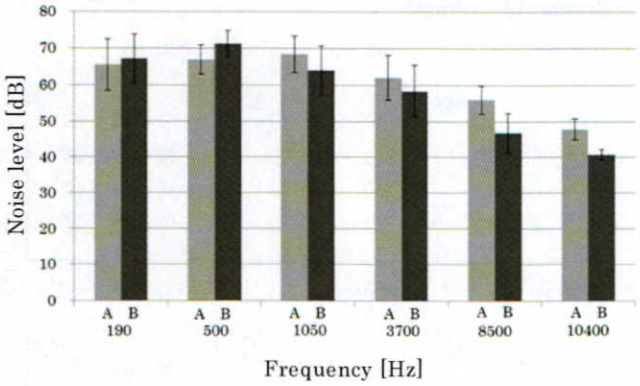


Fig. 10 The comparison of the mean value of noise levels before and after the sound was insulated by a speaker. "A" shows the noise level before the sound was insulated from speakers and "B" shows after the sound was insulated.

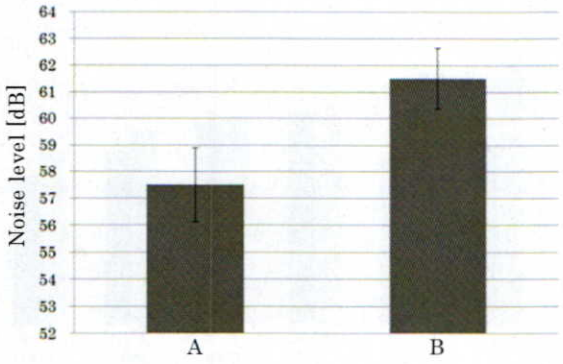


Fig. 11 The comparison of the mean value of noise levels before and after the coordinate sound was played. "A" shows the noise level before the coordinate sound was played and "B" shows the level after the coordinate sound was played.

合わせた際に，スピーカーが音を遮蔽することで騒音レベルが減少したと考えられる。そこで，6 つの周波数の単音とクリーナー音を再生し，スピーカーを置いて遮蔽する前後での各測点における騒音レベルの変化を調べた。

クリーナー音，190 Hz, 500 Hz, 1050 Hz, 3700 Hz の音については遮蔽前後での騒音レベルは大きな変化がなく，遮蔽効果があるとは言えないが，8500 Hz では騒音レベルが減少傾向にあり，10400 Hz では騒音レベルが有意に減少した。これらの 2 つの周波数の音に対してはスピーカーによる遮蔽効果があることが分かった（Fig. 10）。

4.2 同位相音を流した際の騒音レベルの変化

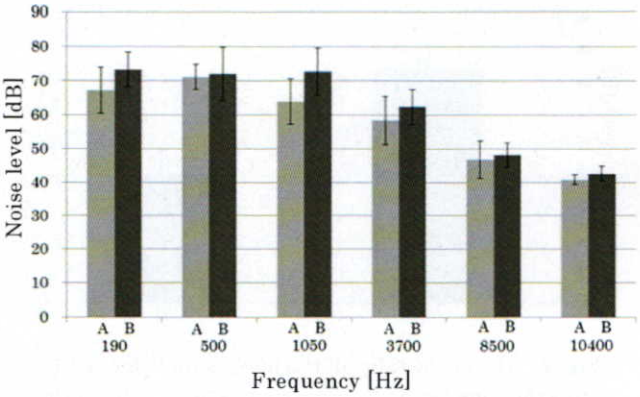


Fig. 12 The comparison of noise levels before and after the sound of each single tone was played.

3 節においてクリーナー音の騒音レベルが減少した要因が逆位相音を再生したためであることを確認する目的で，同位相音を再生したときの教室内での騒音レベルを比較した。同位相音を再生したこと以外の条件は 3 節における実験と同様である。

その結果，クリーナー音の騒音レベルの平均値は約 4 dB 有意に増加していた(Fig. 11)。つまり音の大きさは約 1.5 倍になったということがいえる。また，単音の騒音レベルは全体的に増加傾向にあり，減少した音は無かった（Fig. 12）。以上のことから，3 節の実験で騒音レベルが減少したのは逆位相の音を再生したためであると結論付ける。

5. 結論

黒板消しクリーナーの音を消すにはどのような条件が必要か調べるために，黒板消しクリーナーが出す音を特定し，その後黒板消しクリーナーの音とその逆位相音を同時に流して，逆位相音を流す前後の騒音レベルの変化を求めた。逆位相音を再生した後は，再生前に比べて騒音レベルが減少した。その理由は，逆位相音を流したことで，低周波音（190 Hz と 500 Hz）の騒音レベルが有意に減少し，スピーカーによる遮蔽効果で高周波音（10400 Hz）の騒音レベルが有意に減少したためであった。

黒板消しクリーナーの音を小さくするには，逆位相の音をクリーナーに向かい合わせて接

触させて出すことが最適だと考える。今回は録音したクリーナーの音を用いて実験を行ったが，実際の黒板消しクリーナー音においてもノイズの発生とほぼ同時にその逆位相の音を流すことができれば，大きく騒音を解消できると思われる。また，低周波音の音圧レベルが低下しやすかったことから，この方法は黒板消しクリーナー以外にも主成分が低音であるノイズに対して有効だと考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたって，人の耳の特性を用いることについて助言してくださった岩手大学の阿久津洋巳教授，研究内容や論文作成でご指導くださった柿木康児前本校教諭を初めとする沢山の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

國友正和，滝川昇，井上邦雄，牧島一夫，河本敏郎，黒田楯彦，小林雅之，田原輝夫，橋本道雄，増渕哲夫（2012）：物理，数研出版，P 424.

鈴木陽一，竹島久志（2004）：人の等ラウドネス曲線の測定と国際規格化，電気学会誌 124 (11)，715-718,

ZOOM H2n 取扱説明書：http://www.zoom.co.jp/download/J_H2n.pdf

Wensn DS–HWECJ02 取扱説明書 小野測器：http://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c_support/newreport/noise/souon_2.htm

二重振り子の動きの解析

岩手県立水沢高等学校理数科３年
高橋智輝　佐々木北都　若柳弘樹

ANALYSIS OF DOUBLE PENDLUM'S MOVEMENT

Hiroki WAKAYANAGI, Hokuto SASAKI, Tomoki TAKAHASHI

ABSTRACT

We got interested in double pendulum which is consisted by two single pendulums. The purpose of our research is to discover the periodicity of double pendulum's movement. We researched the movement of double pendulum in terms of frequency of each location's sensor. If each angle of two single pendulums against vertical line is the same, we can get the same frequency at each sensor's position many times in experiment. So a double pendulum has rough periodicity.

Key words : Frequency analysis, Double pendulum, Frequency, Periodicity,

1　はじめに

二重振り子とは単振り子の先端に単振り子をつなげた、二つのアームを持つ振り子である。二つの振り子が互いに影響を及ぼし合い複雑で予測できないと思われる動きをする。その動きはカオスの例としても挙げられる。二重振り子についての先行研究は少なく、規則性について触れられたものは見つけることができなかった。私たちはこの二重振り子の不思議な動きに興味を持ち、どのような仕組みでこの不思議な動きをするのか、規則性はないのか、また、動きを予測することはできないのかと考え研究を始めた。

2　実験

2.1　実験の目的と仮説

この実験では二重振り子の各部の動きを計測し、動きに含まれている主周波数（周期の逆数）を比較することによって二重振り子の動きの特徴を探る。

本実験の前にアイスの棒を用いた小型の二重振り子の模型を製作し、どのように二重振り子が動くのか検証した。二重振り子は不規則で予測できないと思われる動きを見せたが、二重振り子全体が一つの振り子としての周期性を持つのではないかという仮説を立てた。

2.2　実験器具

アイスの棒を用いた二重振り子では連結部の摩擦、回転の法線方向の揺れが大きく、測定に使用できる精度ではなかった。そこで10mm厚のアクリル板、工業用ベアリングを用いて全長45cmのアームを二本持つ二重振り子を製作した。(Fig.1)

Fig. 1　large acrylic double pendulum.

重心の位置は振り子自体に重りを取り付けて調節する。また、計測時の条件の統一のためにアームの先端に金属片を取り付け、電磁石を用いた自動投下装置を用いて投下を行った。

ここで、固定端に対して内側の振り子を振り子１、外側の振り子を振り子２とし、鉛直下向き方向に対する振り子１の角度をθ１、振り子２の角度をθ２とする。(Fig.2)

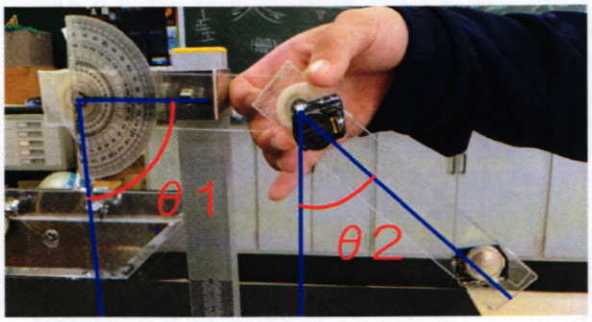


Fig. 2 An angle against vertical line of pendulum1 is θ 1. An angle against vertical line of pendulum2 is θ2.

2.3 解析方法

Wii リモコンを用いた運動解析ソフトである「運動解析プログラム with Wii リモコン」（村上弘氏）を利用する。(Fig.3) 振り子１の先端と振り子２の先端に赤外線マーカーを取り付け、その動きを Wii リモコンで測定する。なお、プログラム上のストロボ間隔は 40 とした。動きを測定する時間は 16 秒とし、後に最初と最後の 3 秒を除き 10 秒のデータにした。CSV 形式で書き出されるこのデータを整理し、水平方向への移動に関する座標のみを取り出す。また、あらかじめとっておいた固定端の位置データの値分だけ引くことによって振動中心を基準とした波形を表すデータを得ることができる。このデータを「txt2wav テキストデータ → wav フォーマットデータ 変換プログラム」を利用して波形データにする。WAV 形式に変換されたファイルを「adobe audition cs6」に取り込み周波数解析を行う。これによって振り子の動きに含まれている周波数の分布を知ることができる。

Fig. 3 Wii remote and Infrared LED

2.4 実験 1

製作した二重振り子を構成する二つの単振り子の重心の比率を調整せずそのまま利用する。重心の比率は 1.15 : 1 となった。これは、赤外線 LED や電池ボックス、ベアリングなどを搭載した結果、重心比が 1:1 ではない二重振り子となったということである。この二重振り子を用いて次の角度の組み合わせをそれぞれ 5 回ずつ計測する。角度① θ１：90°，θ２：0°，角度② θ１：90°，θ２：180°，角度③ θ１：30°，θ２：30°。また、測定した動きは次の三つである。1：振り子１の先端に取り付けたセンサー1 の動き, 2：振り子２の先端に取り付けたセンサー2 の動き, 3：振り子１に対するセンサー2 の相対的な動き。

2.5 実験 2

製作した二重振り子を構成する二つの単振り子の重心の比率を 1 : 1 に一致させる。この実験では鉄製のおもりを使用して振り子１の重心長に振り子２の重心長を一致させた。これでそれぞれのベアリングから重心までの長さが 27cm になった。なお、角度設定と計測する動きは実験１と同じとする。

2.6 実験 3

二重振り子を構成する二つの単振り子のベアリングから重心までの長さの比率を 1 : 1 に保ったまま、おもりを用いてベアリングから重心までの長さを変える。この実験では 20cm, 25cm, 30cm の条件で計測する。なお、角度設定と計測する動きは実験１と同じである。

3　結果

3.1 実験 1

下の表はθ1：90°　θ2：0°の角度組み合わせでのセンサー1、センサー2、振り子 1 に対するセンサー2 の相対的な動きである。同じセンサー位置の場合、何度実験を行ってもほぼ同じ値になった。

	FIRST	SECOND	THIRD	FOURTH
SENSOR1	1.20Hz	1.20Hz	1.26Hz	1.26Hz
SENSOR2	0.96Hz	0.98Hz	0.94Hz	0.94Hz
2-1	1.23Hz	1.24Hz	1.26Hz	1.26Hz

下の表は角度組み合わせを変えた場合のセンサー1、センサー2、振り子 1 に対するセンサー2 の相対的な動きである。それぞれ 5 回ずつ実験したデータの平均値である。角度の組み合わせが異なると、同じセンサー位置でも周波数が異なることが分かる。

	SENSOR1	SENSOR2	2-1
θ1:90, θ2:0	1.23Hz	0.95Hz	1.25Hz
θ1:90, θ2:180	0.9Hz	0.89Hz	0.85Hz
θ1:30, θ2:30	0.89Hz	0.89Hz	0.89Hz

3.2 実験 2

全ての角度の組合せ、計測した全ての点で周波数が 0.86±0.01Hz に一致した。また、得られたデータの正確性を確認するため、波形グラフから読み取り大まかな周期を測定した。波形グラフの山と山の間の距離を測ることによっておおまかな周期を知ることができる。その結果は 0.868Hz であった。これにより周波数解析で得られたデータはおおむね正しいと言える。

3.3 実験 3

次の表のようになった。

CENTER	ANGLE	INSEIDE	2-1	OUTSIDE
20cm	90/0	0.87	0.88	0.87
		0.92	0.92	0.92
		0.96	1.59	0.95
	90/180	1.20	1.22	1.26
		0.92	0.95	0.90
		1.00	1.59	1.00
		0.05	0.88	0.94
	30/30	0.92	0.92	0.92
		0.91	0.91	0.91
		0.91	0.91	0.91
25cm	90/0	0.89	0.89	0.89
		0.91	0.91	0.91
		0.91	0.91	0.91
		0.91	0.91	0.91
	90/180	0.96	0.76	0.97
		0.84	0.84	0.84
		0.92	0.91	0.92
		0.99	1.37	0.85
	30/30	0.90	0.90	0.90
		0.90	0.90	0.90
		0.90	0.90	0.90
30cm	90/0	0.85	0.85	0.85
		0.86	0.87	0.86
		0.86	0.86	0.86
		0.88	0.83	0.86
	90/180	1.13	0.94	0.92
		0.84	0.86	0.85
		0.97	0.92	0.95
		1.18	1.21	0.99
	30/30	0.88	0.88	0.88
		0.88	0.88	0.88
		0.88	0.88	0.88
	[degree]	[Hz]	[Hz]	[Hz]

θ1：30°、θ2：30°の場合は 20cm、25cm、30cm のそれぞれの場合で計測した二重振り子の動きの周波数がほぼ一致していることが分かる。θ1：90°、θ2：0°の場合はそれぞれの値は近似しているが一致はしていないことが分かる。θ1：90°、θ2：180°の場合はほとんどばらばらであることが分かる。θ1：30°、θ2：30°の動きに注目すると、接続部から重心までの長さが長くなるにつれて周波数が小さくなっていることが分かる。

4　考察

4.1　実験 1

この実験では、製作した二重振り子を構成する二つの単振り子の重心の比率を調整せずそのまま利用した。二重振り子を構成する二つの単振り子の接続部から重心までの長さの

比率は 1.15：1 である。同じ角度設定で実験を行った場合、何度実験してもそれぞれのセンサー位置での主周波数はほぼ同じ値になった。しかし、角度設定が変わった場合は同じセンサー位置であっても主周波数は異なるものとなった。

4.2　実験 2

実験 2 では全ての角度の組合せ、解析した全ての振り子の動きで主周波数が 0.87Hz に一致した。この値は単振り子に換算すると重心までの長さが約 33cm の振り子のものに相当する。実験 2 で使用した二重振り子を構成する二つの単振り子、つまり重心までの長さが 27cm の単振り子の周波数、二重振り子全体と同じ長さの単振り子、つまり重心までの長さが 54cm の単振り子の周波数はそれぞれ 1.15Hz、0.61Hz であり、得られた二重振り子の周波数とは異なる。しかし、この二つの周波数の平均は 0.88Hz であり、得られた二重振り子の周波数に近いものと言える。この実験から言えることは、二重振り子は特有の周期を持つということである。この実験からだけではこの値がどのように決定されるのか特定することはできない。1:1 の場合、計測した全ての動き、全ての角度設定で主周波数が一致するのは、振り子の共振が起こるためと考えられる。

4.3　実験 3

実験 3 では実験 2 を受けて、1:1 の振り子で接続部から重心までの長さを変えた場合どのように周波数が変化するのかを調べた。しかし、実験 2 のように 1:1 の二重振り子では解析する全ての動き、全ての角度の組み合わせで主周波数が一致するものと思われたが、この実験では接続部から重心までの比率が 1:1 であるのにもかかわらず $\theta 1 : 90^\circ$、$\theta 2 : 180^\circ$ の角度設定においては他の角度設定、それぞれの計測した動きの周波数が異なる結果となった。原因として、実験 2 では振り子 1 に重心の位置を合わせ、振り子 2 にのみにおもりをつけたことが原因ではないかと考えられる。また、それぞれの振り子の接続部から重心までの長さを長くしていくと、周波数が小さくなっていくことが分かった。これは単振り子の性質と同じである。また、この実験からだけでは二重振り子特有の周波数がどのように導かれるのか発見することはできなかった。

4.3　全体を通して

私たちは二重振り子の接続部の重さについて当初次のように考えていた。振り子 1 と台をつなぐベアリングは振り子 1 に、振り子 2 と振り子 1 をつなぐベアリングは振り子 2 に、また、振り子 1 と振り子 2 をつなぐベアリングを通す金属棒は振り子 1 に重さが含まれる。しかし、台に接続されているベアリングが動かず、振り子 1 と振り子 2 を接続しているベアリングが振り子 1 と連動して動くことを考えると、振り子 1 のベアリングは台の一部と考え、振り子 1 と振り子 2 の連結部のベアリング、接続棒は振り子 1 に重さが含まれるのではないかと考えたほうが正しいのではないかという疑問も生まれた。

今回は二重振り子のそれぞれの振り子の重さを重視しなかった。振り子の運動に影響するのが接続部から重心までの長さのみと考えていたからだ。しかし、二重振り子においてはそれぞれの振り子の重さも運動に影響すると考えた。それぞれの振り子の重さが極端に違う場合影響し合う力にも差が生まれるのではないだろうか。それを踏まえると、この研究においておもりで重心を変えたのはそれぞれの振り子の重さの比を大きく変えていたと考えられる。

また、二重振り子のそれぞれの振り子の長さも重視しなかった。先ほど同様連結部から重心までの長さを重視したからである。しかし、仮に連結部から重心までの長さが同じだったとしても、それぞれの振り子の長さの比が大きく違えば重さの時と同様に影響し合う力に差が生まれるのではないかと考えた。

つまり今回の実験で連結部から重心までの長さの比を重視したため、それぞれの振り子の重さや長さの条件を重視しなかった。しかし、二重振り子の動きは単振り子と同じように重心までの長さだけで考えることはできないと考える。実験条件を変更する際にこれら

の条件も同時に変わっていたと考えられる。これが実験結果にも影響していたと推測する。

5　まとめ

今回の研究で、一見不規則で周期性がないと思われていた二重振り子についておおまかな周期性を発見することができた。二重振り子は全く違う動きになっていくのではなく、大まかな周期のなかで変則的な動きをするということである。また、その大まかな周期は二重振り子特有のもので、二重振り子を構成しているそれぞれの単振り子の周波数や二重振り子全体の長さと同じ長さの単振り子の周波数とは違うものだということが分かった。この周波数を導く公式があると私たちは考えるが今回の研究ではそれを発見することはできなかった。

6　参考文献

○物理シミュレータ Step による２重振り子の運動
http://physicsdemo.org/mod/page/view.php?id=9
○『かわいい物理』第１回「振り子とカオス」
http://taizo3.net/hietaro/2010/09/20100916.php
○二重振り子におけるカオス
http://ir.lib.shizuoka.ac.jp/bitstream/10297/3136/1/090304002.pdf

唾液アミラーゼ活性とストレス

岩手県立水沢高等学校理数科３年
千葉響平　佐山優花　渡邊美希

The Relations between Salivary Amylase Activity and Stress

Kyohei TIBA, Yuka SAYAMA, Miki WATANABE

要　旨

ストレスからくる健康障害が多数見られ，ストレス測定は健康管理の重要なバロメータになる。一方，ストレスが唾液アミラーゼ活性に影響を与えることが知られている。縄跳びによる負荷，氷水に手を浸すことによる負荷，考査による負荷で唾液アミラーゼ活性がどのように変化するかを測定した。その結果，縄跳びと氷水の負荷によってアミラーゼ活性が明らかに上昇することが分かった。また，３,５-ジニトロサリチル酸（ＤＮＳ）を用いた還元糖定量法による唾液アミラーゼ活性測定法と唾液アミラーゼモニターを用いた測定値には高い相関があり，ＤＮＳによって、安価に多数の試料が測定できることが分かった。

ABSTRACT

It is known that stresses affect salivary amylase activity (sAMY). We observed a change of sAMY when such lords as skipping rope, putting hands into icy water and having test were taken to people. As a result, sAMY rose by skipping rope and putting hands into icy water, which showed the subjects had felt stress. Moreover, we succeeded in measuring values of sAMY by the determination of reducing sugars by 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) method.

Key words : salivary amylase activity, continuous physical stress, dinitrosalicylic acid

１．　はじめに

近年，ストレスによって重大な健康障害が引き起こされ社会問題となっている。高校生の私たちにとってもストレスは身近なものであり，ストレスとの付き合い方に悩まされている人は多い。

一方，ストレスの感じ方は個人差も大きく，同じ負荷が身体にかかっても，置かれている環境や条件，その時々の気分によって，感じる疲労感は大きく異なる。身体が受けているストレスを，感覚でなく数値で，手軽かつ正確に知ることができれば，人々の健康管理にも役立ち，体調管理の重要なバロメータにもなると思われる。このようなことから，ストレス測定法に興味を持った。

村上満ら（2009）は，高ストレス状態で唾液アミラーゼ活性が上昇するということを報告している。また，ニプロ社は，採取が容易な唾液中のアミラーゼ活性を測定する唾液アミラーゼモニターを発売し，簡易的な唾液アミラーゼ活性の手軽な測定が可能となっている。

本研究では，第一に，身体にかけられた負荷と唾液中のアミラーゼ活性にどのような関係があるかを調べるため，(1)考査期間中と通常授業日の唾液アミラーゼ活性の比較、および、(2)縄跳びによる負荷や(3)氷水に手を浸す負荷による唾液アミラーゼ活性の変化を調べた。

第二に，唾液アミラーゼ活性とストレスの

関係の研究をより進めるため，安価かつ多量に唾液アミラーゼ活性を測定する必要性から，3,5-ジニトロサリチル酸（ＤＮＳ）を用いた還元糖定量法（以下ＤＮＳ法と表記）が唾液アミラーゼ活性測定に適用できないかを検討した。

２　方法

（１）身体にかけるストレスの種類によるアミラーゼ活性変化の比較

身体にかかる負荷の種類がアミラーゼ活性にどのように影響するかを調べた。唾液アミラーゼ活性測定には，唾液アミラーゼモニター（ニプロ社製 CM2.1，以下，モニタと表記）を用いた測定を行った。

１）考査期間中と通常授業日とのアミラーゼ活性の比較

測定期間

2014 年 2 月 5 日～7 日，10 日，12 日～14 日，19 日

測定時刻：　朝 8:15～8:45

昼 12:30～12:50

大きなストレスがかかっていると思われる考査期間中と普通授業日のアミラーゼ活性値を比較した。

被験者は 4 人（男女各 2 名）で，朝と昼の 2 回に測定した。

２）縄跳びによる負荷

測定日時

2013 年 12 月 19 日 14:25～15:15

20 日 16:00～16:45

運動による活性値の変化をみることに加え，連続した負荷をかけることで活性値が増加するのかを調べるため，縄跳びでの負荷をかけ測定を行った。2 分間平均 235 回のペースで縄跳びをした直後測定を行い，1 分間休憩するというサイクルを 4 回繰り返した。被験者は 3 人（男子 1 名女子 2 名）であった。

３）氷水に手を浸すことによる負荷

測定日時:2014 年 2 月 6 日 16:00～16:40

身体に直接かかるストレスとして，氷水に手を浸す実験を行った。実験では，1～0℃の氷水に手を 30 秒間浸し，唾液アミラーゼ活性を測定した。

（２）ＤＮＳ による唾液アミラーゼ活性の測定

大量の唾液試料を安価に測定するため，3,5-ジニトロサリチル酸（ＤＮＳ）を用いた還元糖定量法がストレスモニタとしての唾液アミラーゼ活性測定に応用できるかどうかを検討した。廣海ら（2000）の文献を参考に唾液アミラーゼ活性の測定法を行った。

1) 測定のための試薬

次のような試薬を調製し活性測定に用いた。

i　リン酸クエン酸緩衝液(0.10mol/L, pH6.6)

0.2mol/LNa_2HPO_4 18.22mL に 0.1mol/L クエン酸溶液 6.78mL の割合で加え pH メーターを用いて両液を適宜加え，pH を 6.6 に調整した。

ii　緩衝液に溶かしたデンプン溶液

（リン酸クエン酸緩衝液中，5.0g/L）

5.0g の可溶性デンプンに 50mL の緩衝液に加えて混ぜる。この全部を 500mL の沸騰したリン酸クエン酸緩衝液に加え，1 分煮沸した後，室温にまで冷却し，緩衝液で 1L に希釈した。

iii　10g/L 塩化ナトリウム水溶液

iv　1/5 に希釈した唾液（唾液アミラーゼ溶液）

v　2.0mol/L 水酸化ナトリウム水溶液

vi　300g /approx.500mL 酒石酸ナトリウムカリウム水溶液

vii　3,5-ジニトロサリチル酸溶液(DNS10g を蒸留水 200mL に溶かした溶液)

viii　ＤＮＳ溶液(溶液 vi と vii を混合し，水で希釈して 1L とする。)

ix　1mg/mL マルトース標準溶液

250mg のマルトースを 250mL のリン酸クエン酸緩衝液中に溶かした溶液。

2) 測定方法

次の反応混液を入れた試験管を用意した。

2.5mL のデンプン溶液(5.0g/L)，1.0mL のリン酸クエン酸緩衝液(0.10mol/L, pH6.6)，0.50mL の塩化ナトリウム(10g/L)水溶液。

試験管を一定温度(35 ℃)にした恒温槽に浸し，活性を測定する唾液アミラーゼ溶液も同じ温度に保った。10 分後に，測定試料 0.50mL を試験管に加え，空試験用の 1 本には水 0.50mL を加える。攪拌しながらこれ

らの試験管を3分間反応させた。次にすべての試験管に2.0mol/L水酸化ナトリウム水溶液を0.50mLずつ加えて反応を停止させた。0.50mLのＤＮＳ溶液を加えて十分攪拌し，沸騰水中で5分間加熱し，ＤＮＳと唾液アミラーゼの作用によって精製した還元糖を反応させた。次に室温まで冷却した後，空試験用の溶液を基準として540nmの吸光度を測定した。

3)検量線の作成

測定試料にマルトース溶液を用い，ＤＮＳと反応させた後，吸光度を測定した。測定試料には，デンプン溶液対マルトース標準溶液の比が 10:0 のものを基準とし，9:1 から 0:10 まで，でんぷんとマルトースの比を変えたものを用いた。同じサンプルを3つ用意してＤＮＳと反応させた。分光光度計を用い540nm における吸光度を測定し，マルトース濃度に対する吸光度の検量線を作成した。なお，分光光度計は，回折格子型光電比色計：ミルトン・ロイ社製スペクトロニック・エデュケータ単光束分光計を用いた。

4)ＤＮＳ法とモニタとの測定値の比較

ＤＮＳ法とモニタによる測定結果を比較して，ＤＮＳ法でもストレスを測ることが可能かを調べた。

3　結果

(1) 身体にかけるストレスの種類によるアミラーゼ活性変化の比較

1) 考査期間中と通常授業日の測定値の比較

考査期間中と通常授業日の測定値の比較をTable1 に示す。朝の測定では，どの被験者においても，通常授業日より考査期間中の活性値の平均の方が高くなった。そこで，考査期間中と通常授業日それぞれの朝の測定値を比較して，t 検定を行ったところ，考査期間中と通常授業日の測定値に 5%水準で有意な差は見られなかった。

Table 1. The comparison of measured value during the examination and that of the school day

		During the examination		The school day		
		morning	afternoon	morning	afternoon	
Subject A	avarage	35.5	25.0	29.8	36.0	t=0.587
	SD	17.4	9.4	6.8	8.8	p=0.299
Subject B	avarage	32.8	30.8	31.8	21.8	t=0.115
	SD	16.1	11.8	2.2	7.8	p=0.458
Subject C	avarage	47.3	29.5	37.5	23.5	t=1.696
	SD	15.0	6.7	9.0	5.2	p=0.094
Subject D	avarage	21.0	18.5	16.8	21.3	t=0.565
	SD	12.4	10.4	6.3	7.2	p=0.306

※SD:Standard Deviation

2) 縄跳びによる負荷

負荷をかける前の値を基準とし，縄跳びによる負荷により，アミラーゼ活性がどのように変化するかをFigure1 に示した。全体としては活性値が上昇する傾向が見られた。負荷前の測定値と負荷後の測定値の平均を比較して，t 検定を行ったところ，5%水準で有意な差が見られた。

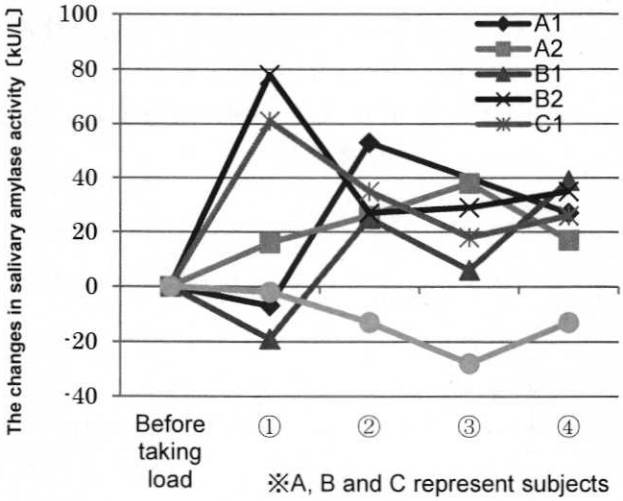


Figure1:The changes in sAMY under continuous physical stress

*The number of times the subjects jumped is indicated ①～④.

3) 氷水による負荷

氷水による負荷を与えた時の測定結果を図2 に示す。被験者をそれぞれ A ,B ,C として，4つのサンプルでグラフに表した。B1 を除いた全ての結果で，負荷後のアミラーゼ活性値が上昇するという結果が得られた。負荷前と負荷後の測定値を比較して，t 検定を行った結果，5%水準で有意な差が見ら

れた。

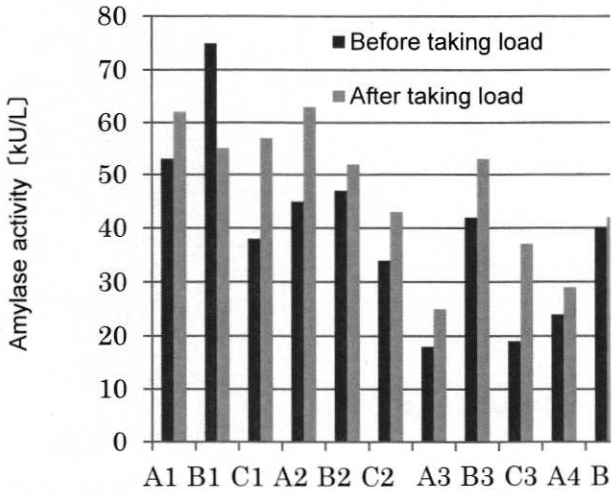


Figure2:The changes in sAMY under strong physical stress

※A, B and C represent subjects

（２）ＤＮＳによる唾液アミラーゼ活性の測定

実際のマルトース濃度に対する吸光度を示した図が Figure 3 である。

吸光度は 1.0 まで比例の式を表し，それを超えると曲線になった。

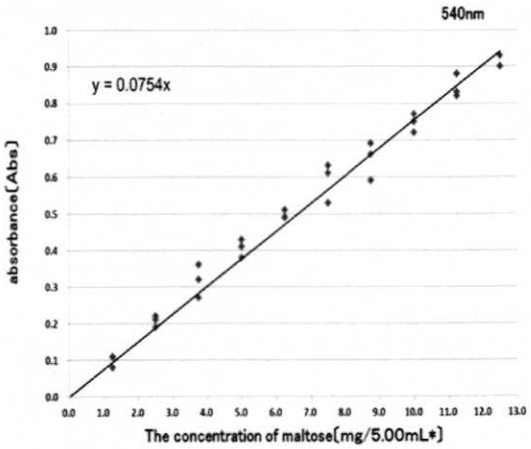


Figure3. The content (mg/5.00mL, the measurement solution) of the maltose and value of absorbance
*the concentration of maltose is in the measurement solution.

ＤＮＳ法とモニタとの測定値の比較を Figure 4 に示す。ＤＮＳ法とモニタに正の相関がみられた。

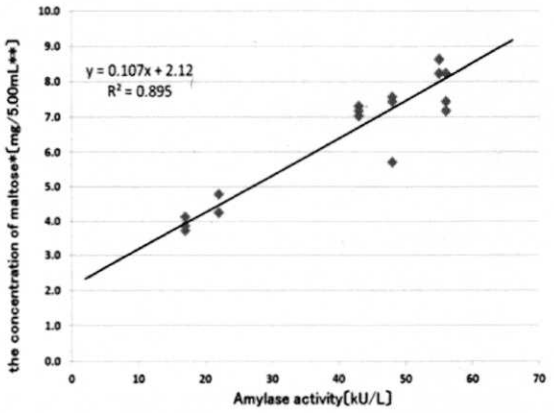


Figure4. The comparison of the value by measuring on DNS method and that of monitor of amylase
*the concentration of maltose was measured by DNS method.
**the concentration is in the measurement solution.

4　考察

考査期間と通常授業日を比較した場合のみ統計的な差が認められず，縄跳びや氷水による負荷ではアミラーゼ活性値に対する影響が認められたことについて，考査時には，その日のテスト終了後に測定したこともあり，勉強による精神的疲労，一日ごとの解放感など，身体にかかる負荷の要因と負荷を軽減する要因などが複雑に影響し合ったと考えられる。

氷水による負荷では冷たいという要因，縄跳びによる負荷では身体的な疲労という要因のみであり，強く単純な負荷であると考えられる。

この２点の比較から，ストレスによるアミラーゼ活性の変化は，強く単純な負荷の方が確認しやすいと推察される。

ＤＮＳ 法によって測定した唾液中のアミラーゼが生成したマルトース量と唾液アミラーゼモニターでの測定値の間に正の相関がみられた。この結果により，ＤＮＳ法は唾液アミラーゼモニター（ニプロ社 CM2.1）の代わりに用いることができると考えられる。今後さらに測定数を増やし，ＤＮＳ法による唾液アミラーゼ活性測定法

を確立し，より安価な方法による測定でストレスと唾液アミラーゼ活性との関係を追究していきたい。

5　結論

1．本実験により，からだに負荷を与えると唾液アミラーゼの活性は上昇するが，負荷の種類によって活性の増加量は異なる。身体に与えられる強く単純な負荷は明らかに唾液アミラーゼ活性を上昇させる。

2．ＤＮＳ法を用いて，より安価に唾液アミラーゼ活性値を測定することができ、ストレス測定に応用できる。

謝辞

本研究を行うにあたり，ご助言いただきました岩手大学教育学部教授 阿久津洋巳先生，関連の実習でお世話になりました同農学部准教授 宮崎雅雄先生をはじめ，多くの先生方にご指導をいただきました。感謝申し上げます。

参考文献

1)廣海啓太郎（2000）
実験で学ぶ生化学　化学同人　244-247

2)村上満ら(2009)
唾液アミラーゼ活性は中学生の心身ストレスの指標になり得るか
生体医工学　47(2):166-171

3)澤田浩，大森大二郎（2009）
「緩衝液　その原理と選び方・作り方」
講談社サイエンティフィク

「金属樹の生成」

岩手県立水沢高等学校理数科 3 年
長田湧　鈴木大貴　福田将斗　石川葵　佐藤和佳　松本麻結

「The formation of metal tree」

Yu OSADA, Daiki SUZUKI, Masato FUKUDA,
Aoi ISHIKAWA, Waka SATO, Mayu MATSUMOTO

ABSTRACT

We were interested in a phenomenon called the "metal tree." A metal tree is made by the difference in ionization tendencies of different metal ions. We particularly experimented on copper trees. Various sizes of copper tree are formed by changing different parameters. We experimented on the copper trees by adding various solutions to them. As a result of the experiment, we found that when chloride ions are present in a solution, the copper tree gets bigger. Therefore, we examined whether solutions containing chloride ions would help copper trees get bigger.

Key words : metal tree, copper tree, ionization tendency, tetrachlorozincate ion

1. はじめに

イオン化傾向が小さい金属イオンの水溶液にイオン化傾向が大きい金属を入れると金属が溶ける。金属樹とは，金属が陽イオンとなる際に放出した電子を，イオン化傾向が小さい金属イオンが受け取り，金属が樹枝状に析出したものである。特に，銅が析出したものは銅樹と呼ばれている。私たちは金属樹の生成について興味を持ち，大きな金属樹をつくるためにはどのような溶液を加えるのが最適かを調べた。

銅樹を生成する際，硫酸銅(Ⅱ)水溶液に塩酸や硫酸を加えると，亜鉛のイオン化が促進され，電子が放出しやすくなるため，銅樹が大きく生成する。一方，アンモニアを加えると銅イオンが錯イオンとなり，電子を受けとりにくくなるため，銅樹が生成しにくくなると考えた。

2. 実験Ⅰ

実験方法

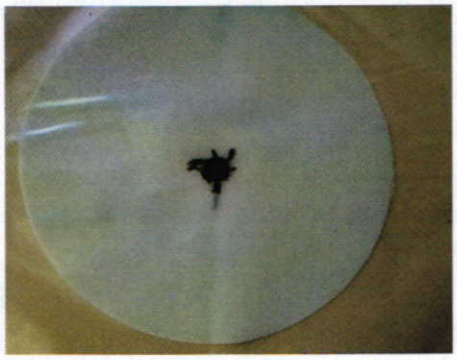
0.10mol/L 硫酸銅水溶液 50mL にそれぞれ水，1.0mol/L 硫酸，1.0mol/L 塩酸，濃アンモニアを 5mL ずつ加えた。ろ紙の上に直径 5mm の亜鉛の粒をのせ，調整した 4 種の水溶液を 5mL ずつそれぞれ加えた。その後，ビニール袋にはさんで放置し，一日後に銅樹の生成した表面積を計測した。銅樹の表面積は，方眼紙で銅樹を写し取り，面積を計測した。

Figure. 1 Apparatus for our experiment

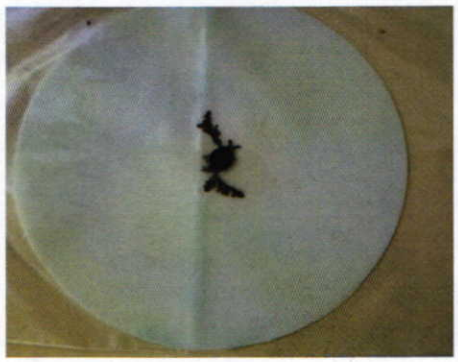
実験結果

	Surface area ［mm²］
①H_2O	97
②H_2SO_4	85
③HCl	1,147
④濃 NH_3	0

Table1. The results of the formation of metal tree



H_2O



H_2SO_4

HCl

Figure.2 The formation of metal tree

考察

アンモニアは銅イオンを錯イオン化するため銅樹の生成を妨げると予想していたが，実際は全く生成されなかった。このことについて以下のように考察した。

アンモニアは水と反応して，アンモニウムイオンと水酸化物イオンを発生させる。

$NH_3+H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$

アンモニアから発生した水酸化物イオンは亜鉛から放出された亜鉛(Ⅱ)イオンと反応し，不溶性物質である水酸化亜鉛(Ⅱ)を生成して，亜鉛を覆う被膜となる。

$Zn^{2+} + 2OH^- \rightarrow Zn(OH)_2$

そのことにより，亜鉛から電子が放出されず，水溶液中の銅イオンとの反応を阻害するため，銅樹が生成しなかったと考える。

酸性溶液の塩酸と硫酸を比較すると，塩酸を加えた銅樹のほうが大きくなったことから，銅樹の生成には，溶液中の塩化物イオンの効果によるものが大きいと考えた。

3. 実験Ⅱ

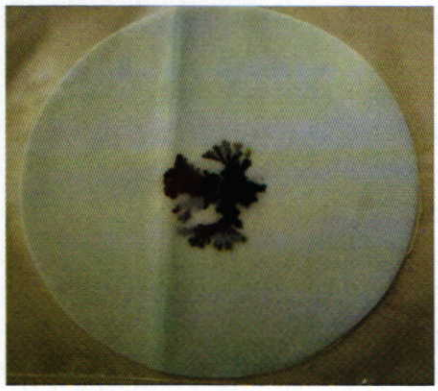
実験方法

実験Ⅰの結果をもとに，同様の方法で加える溶液を 1.0mol/L 塩酸，1.0mol/L 塩化ナトリウム水溶液，1.0mol/L 塩化カリウム水溶液，1.0mol/L にして実験を行った。

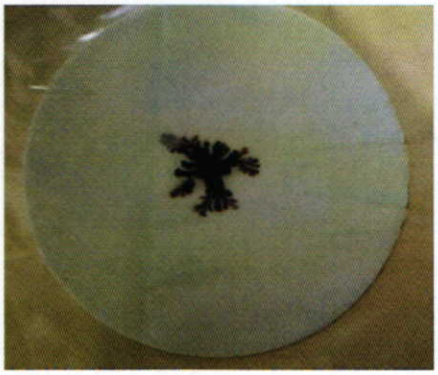
実験結果

	Surface area ［mm²］
① HCl	1,194
② NaCl	418
③ KCl	343

Table2. The results of the formation of the metal trees



NaCl



KCl

Figure3. The formation of metal tree

考察

塩化ナトリウムや塩化カリウムなどの塩化物イオンを含むものは,亜鉛(Ⅱ)イオンが塩化物イオンと反応してテトラクロロ亜鉛(Ⅱ)酸イオンが生成されたのではないかと考える。

$Zn^{2+}+4Cl^{-}\rightarrow[ZnCl_4]^{2-}$

そのことにより亜鉛(Ⅱ)イオンの濃度が減少し,亜鉛のイオン化が促進され,銅イオンが多くの電子を受け取ることができるため,銅樹が大きく生成したと考える。

また,なぜ塩酸を加えたものが他の塩化物イオンを含むものよりも銅樹を大きく生成させたのかについては,塩酸が酸性溶液であることによると考える。亜鉛は酸性溶液中でイオン化が促進され,銅イオンと反応しやすくなる。

4. 結論

硫酸銅(Ⅱ)水溶液と亜鉛から銅の金属樹を生成させるには,塩酸を加えると,金属樹を特に大きく生成される。また,塩化物イオンを含むものも金属樹を大きく生成させた。

5. 今後の課題

酸の条件や pH を変えて銅樹の成長の仕方をさらに調べる。

テトラクロロ亜鉛(Ⅱ)酸イオン,水酸化亜鉛の確認を行う。

謝辞

本研究でご指導くださった前本校教諭高橋匡之先生,岩手大学の八代仁教授,呉松竹准教授,また,英語指導をしてくださった,前本校教諭久保朱美先生,坂本秀晴先生,ALT のポーラ・サトー先生をはじめ,多くの先生方にお世話になりました。ありがとうございました。

参考文献

Wikipedia　http://ja.wikipedia.org/wiki/金属樹

いきいき科学アイデア実験室(新生出版)
盛口裏　高田博志　著

私たちの研究　千葉県立安房南高校科学論文集

電池における還元剤の効果について

岩手県立水沢高等学校理数科３年
菅野裕也　阿部貢己　菊地孝太郎　阿部玖美　伊藤夏歌　山田紗季穂

The effect of reducers in batteries

Yuya KANNO, Mitsuki ABE, Kotaro KIKUCHI,
Kumi ABE, Natsuka ITO and Sakiho YAMADA

ABSTRACT

We appreciated the value of batteries and become interested in it after we went through the big earthquake. So, we began to researched batteries used something around us.
We hypothesized that a rise of electric power is proportional to a rise of reducer's reducing power. And then we measured reducing power of seven reducers. Then, we also measured the electric power of Daniel type batteries to examine the relation between electric power and reducing power.
As a result of it, ascorbic acid has the strongest reducing power and electric power.
Therefore, we found that the the electric power tends to be proportional to reducing power.

Key words: reducing power, ascorbic acid

1. はじめに

2011 年の東日本大震災による大停電で電池の需要性を再認識し電池の研究に興味を持った。電池は酸化還元反応によって電気エネルギーを得る装置である。そこで酸化防止剤など我々の身近にある還元剤に着目し，研究を行うことにした。

これまでの研究では還元剤の還元能力量（実際に還元剤として働く還元剤の量）を明記するものは見当たらなかった。本研究ではそれを調べ，起電力との関連を調べることにした。

本研究では第一に様々な還元剤に対し，過マンガン酸カリウム水溶液を作用させ，その消費量を調べた。次に７種類の還元剤水溶液を反応させ，実際の起電力を測定し，起電力と還元剤の量的関係を調べ，還元剤の還元能力量と起電力の関係を調べた。

2. 方法

還元剤の還元能力量を電位差滴定で比較し，その結果をもとにダニエル型の電池を作製して，電池における実際の還元剤の働きを調べた。

① シュウ酸　$(COOH)_2 \cdot 2H_2O$
Oxalic acid
② 亜硫酸ナトリウム　Na_2SO_3
Sodium sulfite
③ アスコルビン酸　$C_6H_8O_6$
Ascorbic acid
④ 硫酸鉄(Ⅱ)七水和物 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$
Iron(Ⅱ)sulfate heptahydrate
⑤ グルコース　$C_6H_{12}O_6$
Glucouse
⑥ ガラクトース　$C_6H_{12}O_6$
Galactose
⑦ フルクトース　$C_6H_{12}O_6$
Fructose

Table.1 Reducers we used in this experiment.

なお,今回実験に用いた還元剤は table.1 のとおりで, Fig.3, Fig.4 の①～⑦は table.1 の①～⑦に対応している。

2-1 各種還元剤の還元能力の比較

還元剤の還元能力量を比較するため電位差滴定を行った。一定量の還元剤に対して，酸化還元反応が当量点に達する（電圧が急上昇する）までに加えられる酸化剤の量を比較して，その量が多い還元剤ほど還元能力量が多いと考えられる。

作用電極には白金電極，参照電極には銀－塩化銀電極を用い，両電極をデジタルマルチメーターで繋いだ。還元剤には 0.010mol/L 水溶液 20mL を使用し，塩橋（飽和 KCl 水溶液を寒天で固めたもの）で,参照電極の入ったビーカーと繋ぐ。ビュレットに入れた酸化剤（0.10mol/L-$KMnO_4$水溶液）を反応の当量点まで入れ，その量で比較した。fig.1 に実験の概略を示した。

酸化剤の当量点はグラフ内で電圧が急上昇し始めた点と終えた点の中点とした。

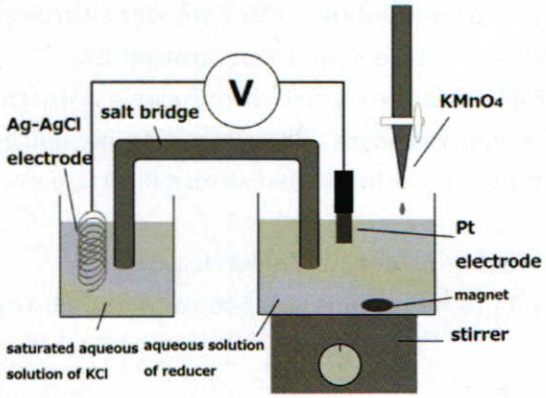


Fig.1 A device of potential difference titration.

2-2 ダニエル型電池による起電力の比較

各還元剤による電池の性能の違いを確認するためにダニエル型電池を作製し，電圧を測定した。装置の概要を Fig.2 に示した。

電極は両極とも白金電極を使用し，電圧計で繋いだ。還元剤の水溶液 30mL を用い、濃度を変えた。酸化剤は 0.10mol/L-$KMnO_4$ 水溶液

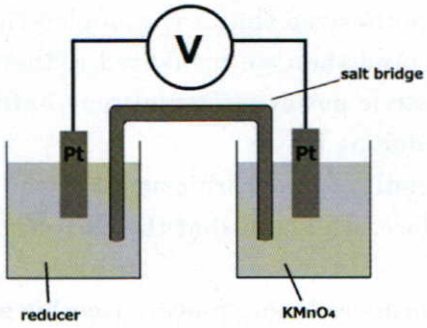


Fig.2 Daniel type battery

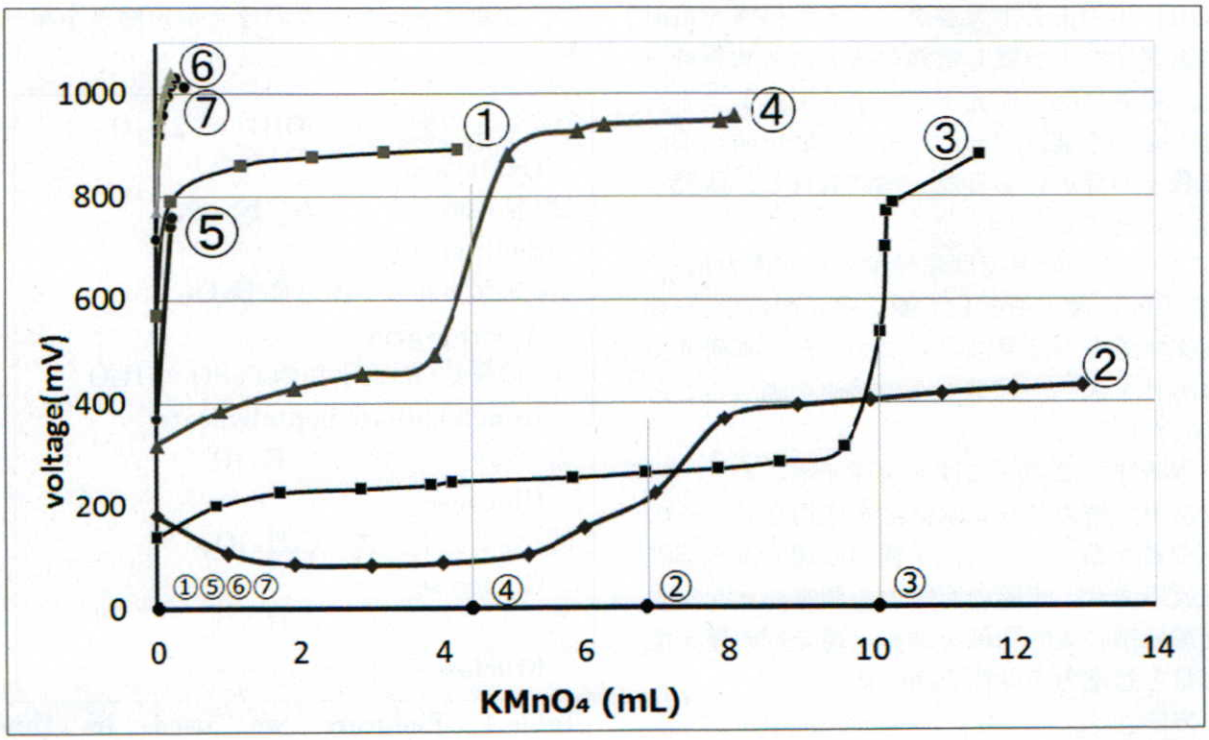


Fig.3 A consumption of a solution of 0.10mol/L-$KMnO_4$.

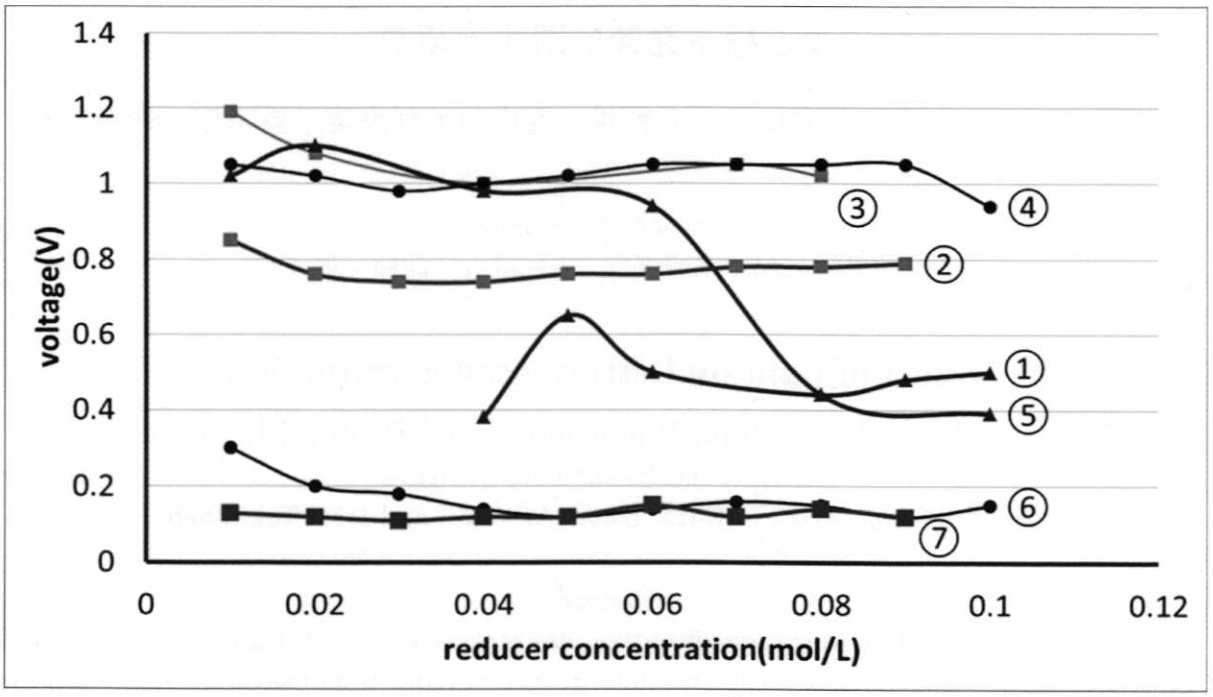


Fig.4　Concentration of each reducers and electric power of Daniel type battery.

を用い，両溶液を塩橋で繋ぎ，その際に生じる電圧を測定した。

3. 結果

3-1 各種還元剤の還元能力の比較

実験 2-1 の結果を fig.3 に示した。

反応の当量点に達するまでに加えられた酸化剤の量が一番多かったのはアスコルビン酸で グルコース,ガラクトース,フルクトース,シュウ酸は数滴滴下しただけで電圧が急上昇した。

3-2 ダニエル型電池による起電力の比較

実験 2-2 の結果を fig.4 に示した。アスコルビン酸と硫酸鉄（Ⅱ）七水和物の電圧が最も高かった。ガラクトースとフルクトースは少量の電圧しか得られなかった。なお，電流については,亜硫酸ナトリウムと硫酸鉄（Ⅱ）七水和物は，2mA 程度得られたが他は計測できないほど微弱であった。

4. 考察

4-1 各種還元剤の還元能力の比較

実験 2-1 でアスコルビン酸の滴下量が一番多かったために，還元能力量も一番高く，電池作製にふさわしいのではないかと考えた。シュウ酸や糖類は少量の滴下で電圧が急上昇したことから，適切な値を求めるためにはほかの条件が必要なのではないかと考えた。

4-2 ダニエル型電池による起電力の比較

実験 2-2 の結果より，電位差滴定で滴下量が高かったアスコルビン酸の電圧が高く，滴下量が低い糖類，シュウ酸の電圧が低いことから還元能力量が高いほど，電池作製時の電圧も高くなる傾向があると考えた。しかしこの実験の結果より溶液の濃度と電圧に明確な関係はなかった。

5. 結論

電池において還元剤はより還元能力量が多いほうが起電力が高くなる傾向にあり，そのため還元能力量が高いものほど電池に適していると考えられる。また起電力と還元剤の濃度の間には関係がないと考えられる。

謝辞

多くの質問に丁寧に回答していただいた岩手大学の宇井幸一准教授，また，ご指導くださった前本校教諭加藤直樹先生に深く感謝申し上げます。

参考文献

加藤直樹(1999)理科部会誌 第 30 号 30-36 ページ 岩手県高等学校教育研究会

光と種子発芽に関する研究

—リーフレタス種子発芽における光質，温度および光量子束密度の影響—

岩手県立水沢高等学校理数科３年
佐藤洸一郎　三浦康介　有住直人　髙橋一生

Effect of light on Lettuce seed germination

Effects of Light Irradiation, Temperature and Photon Flux Density on Lettuce Seed Germination

Koichiro Sato, Kosuke Miura, Naoto Arisumi, and Issei Takahashi

Abstract

The seed which has light germinative characteristic need light to germinate. Currently , most research haven't been studied with setting temperature , Light quality and photon flux density , so we studied the effects of light quality, temperature and photon flux density on seed germination in leaf lettuce. We found that Red and Bluish green right promoted the seed germination. But Blue right inhibits it. Also there is a dominant correlation between Light quality and Temperature in seed germination.

Key words : Seed germination, Temperature, Photon flux density, Light quality, Light germinative characteristic, correlation

１．はじめに

通常の種子の発芽には，温度，水分および酸素が必要である．しかし，光発芽特性を示す種子は，発芽に光が必要である．従来レタスの光発芽特性の研究は，Bothwick ら(1952)および Flint (1935)によって行われてきた．これらの実験は，レタスの特定品種‘Grand Rapid’を用いて行った実験のみである．また光質についても波長のみ測定されており，光量子束密度を揃えた実験は柳ら(2003)の報告のみである．そこで，本実験では光発芽種子のリーフレタスに着目して光質，温度および光量子束密度の発芽への影響を検討した．

２．研究方法

材料は，レタス(*Lactuca sativa* L.)のリーフレタスの品種名フリンジグリーンを用いた．種子はサカタのタネから購入した．この品種は，市販の種子で光発芽特性を示す(城守ら，2008, 2010)．実験方法は，直径 9 cm ×深さ 1.5 cm シャーレに寒天を 0.8 % 添加した培地に，1シャーレ当り20個の種子を播種した．その後各試験区５シャーレを 20 ° C, 25 ° C および 30 ° C に設定した人工気象器内で発芽させ，調査観察を行った．なお実験は，各試験区 3 回実施し，それぞれ播種後 1 日目から 4 日目までの発芽数を調査した．光質の比較は，市販の LED 照射装置の赤色光(660 nm)，青緑色光(503 nm)および青色光(475 nm)の LED を用いて実験を行った(Fig 1)．なお波長スペクトルの測定は，マルチ分光計((株)B&W TEK 社)を用いて行った．また，光量子束密度は赤色光および青緑色光では 100 $\mu molm^{-2}s^{-1}$，青色光では 20, 40, 80 および 100 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ を設定し実験を行った．なお光量子束密度の測定は，光量子計(デルタオーム HD 2302.0)を用いて行った．対照実験として，明所(3000 lx, 約 33.3 $\mu molm^{-2}s^{-1}$)，暗所を設定した．以下，光量子束密度は括弧内に示した．統計処理は Excel 統計 Ver.6(株)

エスミを用いた.

3．結果

(1)光質

Table1 に実験で得られた発芽率の結果を表した．また，Fig 3. は実験結果をグラフにまとめたものである．赤色光(100)では，いずれの温度でも播種後 2 日目に 66 ～ 91 %の発芽率を示した．また青緑色光(100)では，65 ～ 89 %の発芽率を示した．一方，青色光(20)では，20° C および 30° C では，63 ～ 94 %，25° C では，52 ～ 56 %の発芽率を示した．青色光(40)では，20° C および 25° C では，30 ～ 65 %，30° C では，31 ～ 45 %の発芽率を示した．青色光(80)では，20° C および 25° C では，23 ～ 61 %，30° C では，61 ～ 68 %の発芽率を示した．青色光(100)では，20° C および 25° C では，13 ～ 39 %，30° C では，60 ～ 72 %の発芽率を示した．

(2)温度

20° C では，赤色光(100)，青緑色光(100)，青色光(20)，青色光(40)，青色光(100)および青色光(80)の順で発芽率が高く，特に赤色光(100)では，85 %と高い発芽率を示した．一方，青色光(100)では，35 %，青色光(80)では，32 %と低い発芽率を示した．25° C では，赤色光(100)，青緑色光(100)，青色光(80)，青色光(20)，青色光(40)および青色光(100)の順で発芽率が高く，20° C と同様に赤色光では，78 %と高い発芽率を示した．一方，青色光(100)では，22 %と低い発芽率を示した．30° C では，青色光(20)，青緑色光(100)，赤色光(100)，青色光(100)，青色光(80)および青色光(40)の順で発芽率が高く，20° C および 25° C とは異なり，青色光(20)では，84 %と高い発芽率を示し，青色光(40)では，36 %と低い発芽率を示した．

(3)光量子束密度

Table2. に実験で得られた発芽率の結果を表した．また，Fig 4. は実験結果をグラフにまとめたものである．20° C では，青色光(20)，青色光(40)，青色光(100)および青色光(80)の順で発芽率が高く，青色光(100)では，35 %，青色光(80)では，32 %とほぼ同じ発芽率を示した．25° C では，青色光(80)，青色光(20)，青色光(40)および青色光(100)の順で発芽率が高く，青色光(80)では 56 %，青色光(20)では 54 %，青色光(40)では 46 %とほぼ同じような発芽率を示した．青色光(100)では 22 %と特に低い発芽率を示した．30° C では，青色光(20)，青色光(100)，青色光(80)および青色光(40)の順で発芽率が高く，20° C および 25° C とは異なり，青色光(40)では 36 %と特に低い発芽率を示した．

(4)統計処理

2 元配置分散分析の結果から，光質と温度の有意な相関関係がみられた．光質では 1%水準で有意な差がみられた．さらに光質の母平均の差の検定ではテューキーの検定において，赤色光(100)と青色光(100)が 1%水準で有意な差がみられた．さらに青緑色光(100)と青色光(100)でも 1%水準で有意な差がみられた．一方温度では 5%水準で有意な差がみられた．また，青色光において光量子束密度と温度の有意な相関関係がみられた．青色光において光量子束密度では 1%水準で有意な差がみられた．さらに光量子束密度の母平均の差の検定ではテューキーの検定において，青色光(20)と青色光(40)，青色光(20)と青色光(80)および青色光(100)では 1%水準で有意な差がみられた．さらに青色光(80)と青色光(100)では 1%水準で有意な差がみられた．

4．考察

実験の結果から，光質によって発芽率に違いは見られた．フリンジグリーンでは，明所との比較により，赤色光および青緑色光は発芽を促進させると考えられた．一方，青色光では，青色光(40)，青色光(80)および青色光(100)の 20° C および 25° C では発芽を抑制した．しかし，30° C では発芽を促進した．これは，光質が，温度との相互作用によって発芽が促進されたためであると考えられる．さらに，青色光(20)の 20° C および 30° C では発芽を促進した．しかし，25° C では発芽を抑制した．これは，光量子束密度が影響したと考えられる．温度では，20° C から 30° C になるにつれて徐々に発芽率が減少したこと

から，温度が上昇するほど発芽率が低くなると考えられた．

また，２元配置分散分析の結果により，光質と温度の有意な相関関係があることが示された．さらに光質によって発芽率に違いがあることが示された．また，青色光において，光量子束密度と温度の有意な相関関係があることが示された．さらに，青色光において光量子束密度によって発芽率に違いがあることが示された．

5．結論

本研究では，光質によって発芽率に差が見られた．特に赤色光および青緑色光は発芽を促進し，青色光は発芽を抑制した．光質と温度の有意な相関関係があることが示された．青色光における光量子束密度と温度の有意な相関関係があることが示された．また，青色光の光量子束密度および温度を変えた場合の比較から，青色光では，発芽適温である 20° C では光量子束密度が高くなるほど発芽は抑制されるが，発芽適温より高くなるほど，光量子束密度の影響が小さくなることが示唆された．

6．謝辞

岩手大学農学部付属寒冷バイオフロンティア研究センター教授上村松生博士には様々なご助言をいただいた．また，ご指導いただいた本校教諭城守寛博士および猪股英美先生に感謝いたします．

7．参考文献

(1)Borthwick, H. A., S. B. Hendricks, M. W. Parker, E. H. Toole and V. K. Toole 1952 A reversible photoreaction controlling seed germination. Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. 38;6 662-666.

(2)Flint, H. L. 1935 The action of radiation of specific wave-lengths in reaction to the germination of light-sensitive lettuce seed. Smithsonian Inst. Misc. Collections 94(5); 1-4.

(3)城守　寛，金澤俊成，由比　進，高村慎太郎，高村祐太郎　2008　レタス種子の光発芽特性に及ぼす LED の影響　園学研 7(別 1) ; 182

(4)城守　寛，金澤俊成，阿久津克輝，菊池修平，藤田貴之　2010　レタス種子発芽に及ぼす LED 照射方法の影響 園学研 9(1);178.

(5)柳智博，奥田延幸，藤目幸広，岡本研 2003 レタス種子発芽の光可逆的反応における品種間－園芸学ならびに園芸教育の視点から－ 日農教誌　34;51-58

Table 1. Effect of Light quality and Temperature of Leaf Lettuce

		Light quality	1	2	3	average	SD [2]	SE [3]
Temperature	20℃	Red(100) [1]	78	87	91	85.33	6.66	3.84
		Bluish green(100)	89	85	70	81.33	10.02	5.78
		Blue(100)	34	38	33	35.00	2.65	1.53
		White light(33)	72	70	71	71.00	1.00	0.58
		Dark	41	53	34	42.67	9.61	5.55
	25℃	Red(100)	87	66	80	77.67	10.69	6.17
		Bluish green(100)	88	65	66	73.00	13.00	7.51
		Blue(100)	13	13	39	21.67	15.01	8.67
		White light(33)	79	70	68	72.33	5.86	3.38
		Dark	27	32	24	27.67	4.04	2.33
	30℃	Red(100)	69	69	73	70.33	2.31	1.33
		Bluish green(100)	89	66	75	76.67	11.59	6.69
		Blue(100)	60	72	69	67.00	6.24	3.61
		White light(33)	18	18	13	16.33	2.89	1.67
		Dark	0	0	0	0.00	0.00	0.00

1) Photon flux density
2) Standard deviation
3) Standard error

Table 2. Effect of Photon flux density and Temperature of Leaf lettuce

		Photon flux density	1	2	3	average	SD [2]	SE [3]
Temperature	20℃	Blue(20) [1]	80	85	63	76.00	11.53	6.66
		Blue(40)	65	58	58	60.33	4.04	2.33
		Blue(80)	37	23	37	32.33	8.08	4.67
		Blue(100)	34	38	33	35.00	2.65	1.53
		White light(33)	72	70	71	71.00	1.00	0.58
		Dark	41	53	34	42.67	9.61	5.55
	25℃	Blue(20)	52	56	54	54.00	2.00	1.15
		Blue(40)	52	55	30	45.67	13.65	7.88
		Blue(80)	57	61	50	56.00	5.57	3.21
		Blue(100)	13	13	39	21.67	15.01	8.67
		White light(33)	79	70	68	72.33	5.86	3.38
		Dark	27	32	24	27.67	4.04	2.33
	30℃	Blue(20)	80	94	78	84.00	8.72	5.03
		Blue(40)	31	31	45	35.67	8.08	4.67
		Blue(80)	66	68	61	65.00	3.61	2.08
		Blue(100)	60	72	69	67.00	6.24	3.61
		White light(33)	18	18	13	16.33	2.89	1.67
		Dark	0	0	0	0.00	0.00	0.00

1) Photon flux density
2) Standard deviation
3) Standard error

Table 3. Variance analysis of Effect of Light quality and Temperature of Leaf Lettuce

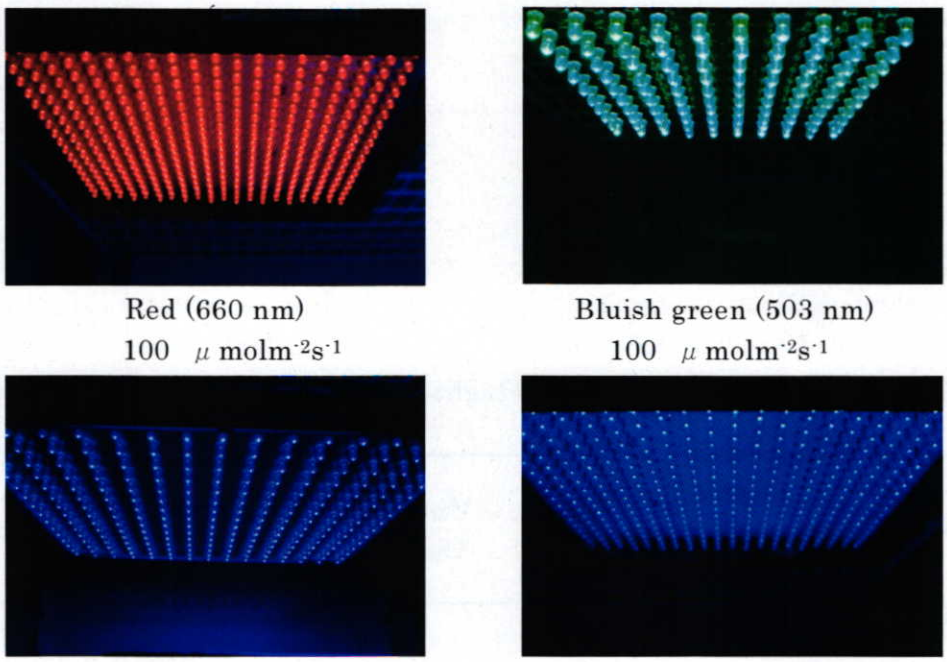
Factor	Degree of freedom	Sum of squared deviation	Unbiased variance	Variance ratio	P Value	Judgment
Whole	26	13232.7				
Light quality (A)	2	7781.56	3890.78	40.58	0	[**] [1)]
Temperature (B)	2	964.22	482.11	5.03	0.02	[*] [2)]
A×B	4	2760.89	690.22	7.2	0	[**]
Error	18	1726	95.89			

1) Significant Ⓟ-value at 0.01 level.
2) Significant Ⓟ-value at 0.05 level.

Table 4. Variance analysis of Effect of Photon flux density and Temperature of Leaf Lettuce

Factor	Degree of freedom	Sum of squared deviation	Unbiased variance	Variance ratio	P Value	Judgment
Whole	34	13351.6				
Light quality (A)	3	5122.77	1707.59	22.16	0	[**] [1)]
Temperature (B)	2	1904.14	952.07	12.36	0	[**]
A×B	6	4552.7	758.78	9.85	0	[**]
Error	23	1772	77.04			

1) Significant Ⓟ-value at 0.05 level.



Red (660 nm)
100 μ molm^{-2}s^{-1}

Bluish green (503 nm)
100 μ molm^{-2}s^{-1}

Blue (475 nm)
100 μ molm^{-2}s^{-1}

Blue (475 nm)
20 μ molm^{-2}s^{-1}

Fig. 1 Red, Bluish green and Blue LED Lights

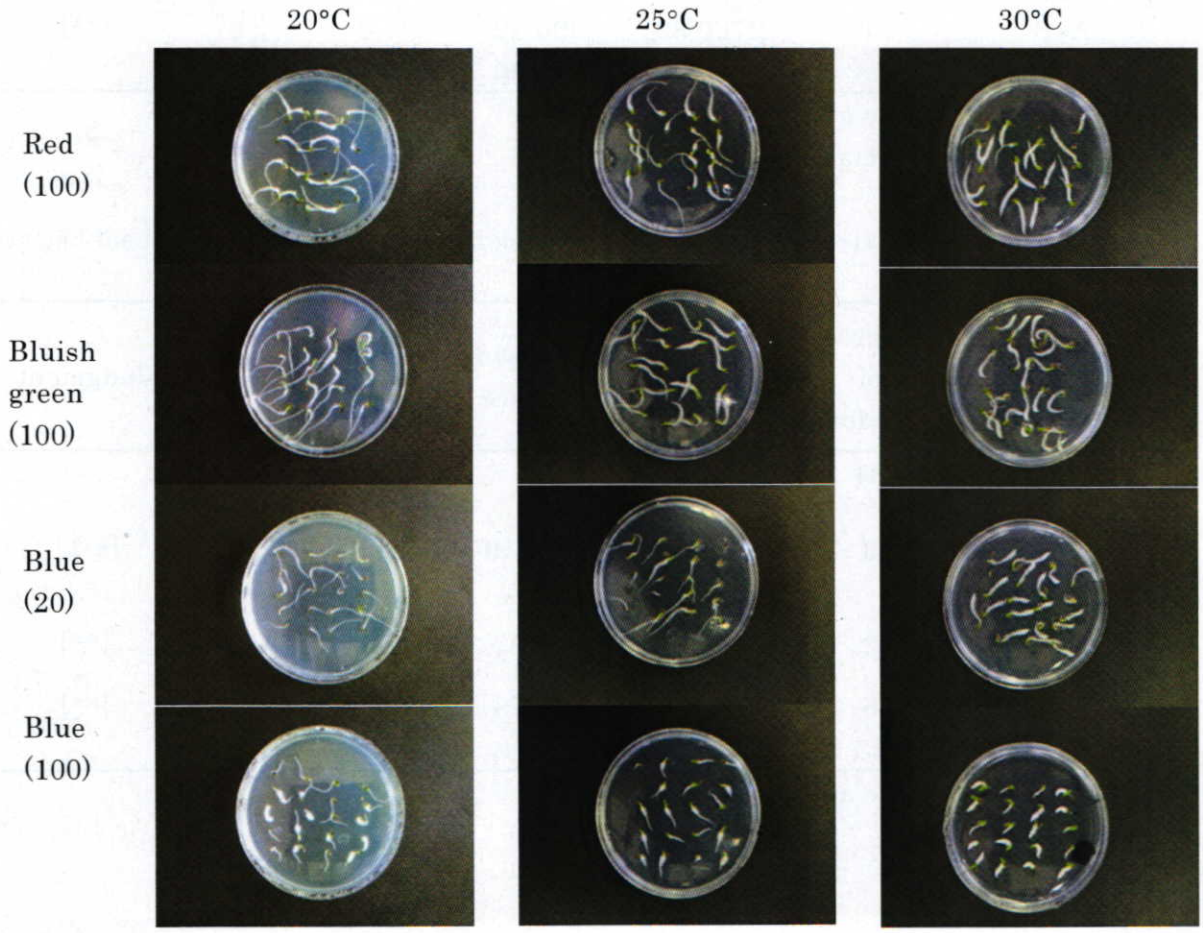


Fig. 2 Effect of Light quality and Temperature of Leaf Lettuce
( ) : μ molm^{-2}s^{-1}

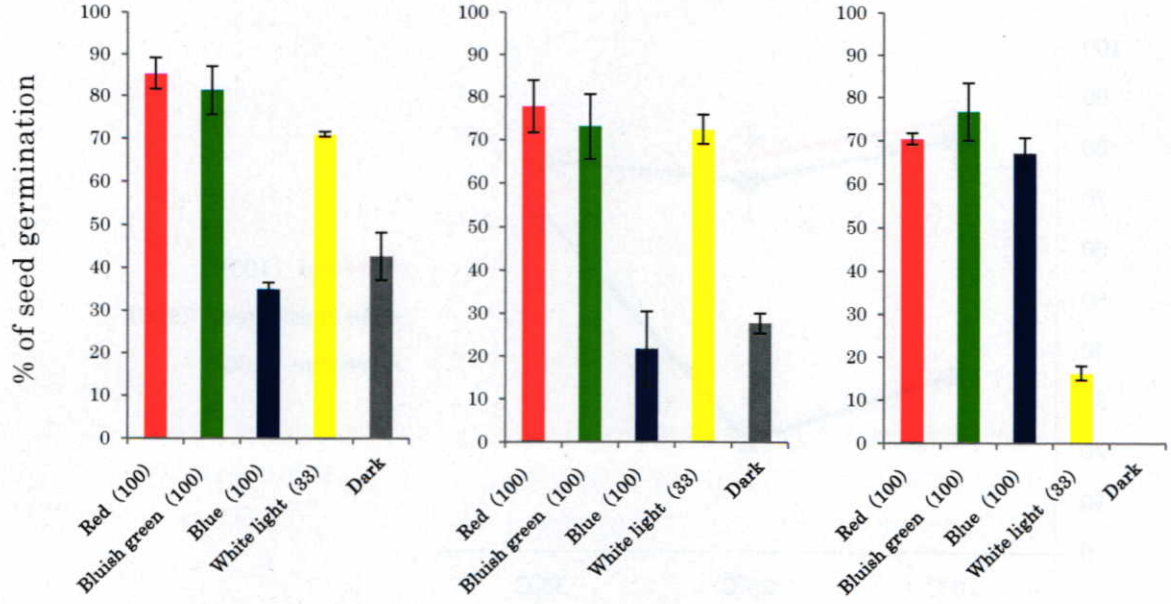


Fig. 3 Effect of Light quality and Temperature of Leaf Lettuce

Bars and attached line indicate the mean percentages of germination and triple SE calculated from five dishes.

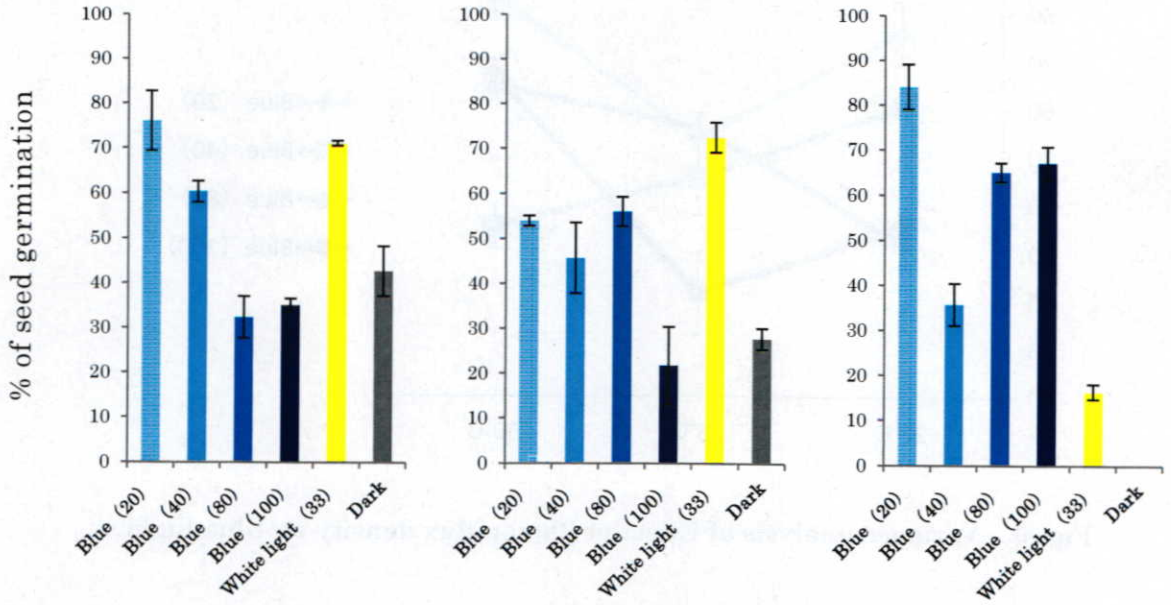


Fig. 4 Effect of Photon flux density and Temperature of Leaf Lettuce

Bars and attached line indicate the mean percentages of germination and triple SE calculated from five dishes.

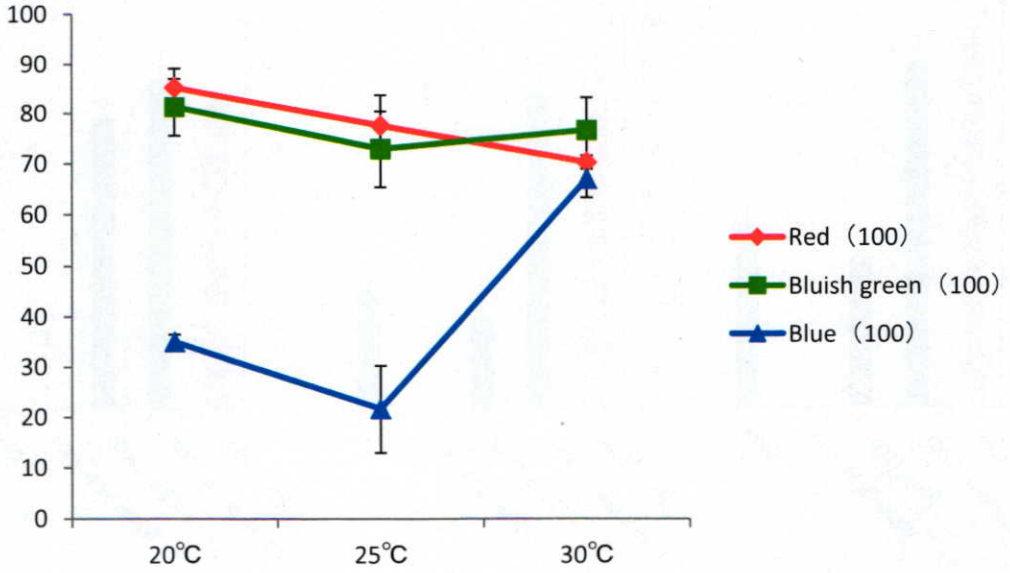


Fig. 5 Variance analysis of Effect of Light quality and temperature on three types

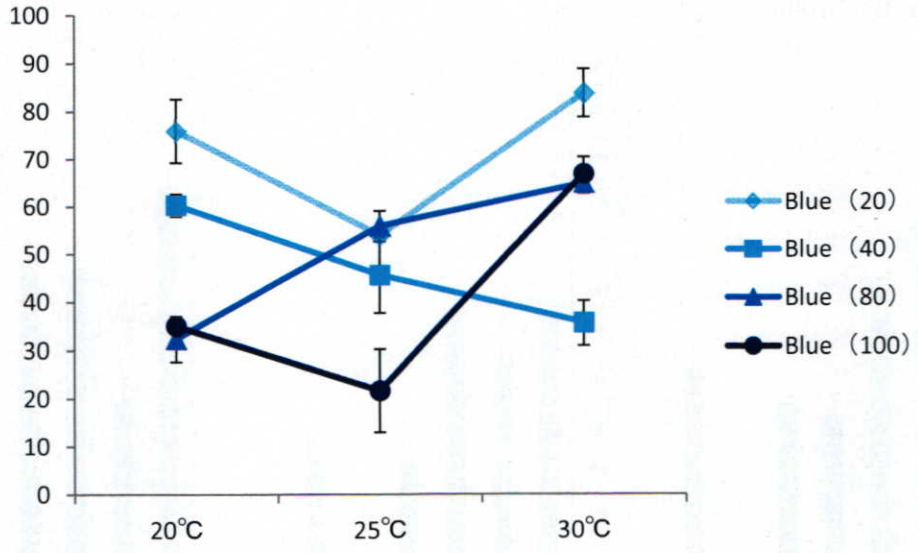


Fig. 6 Variance analysis of Effect of Photon flux density on Blue Light.

リンドウ科植物の植物体再生に関する研究

-トルコギキョウおよびエキザカム葉片からのカルス形成-

岩手県立水沢高等学校理数科３年
及川愛海　門口奈央　住吉恵里香　羽生田湖春

Study on plant regeneration of Gentian familys

Leaf-derived callus formation from Eustoma and Persian violet

Manami Oikawa,　Nao kadoguchi,　Erika sumiyoshi and Koharu hanyuda

Abstract

We started researching for make a new kind of Gentian.　Eustoma and Persian violet which we used for a study have heat resistance and the breeding characteristics that a Gentian plant does not have.　However, we cannot do a crossing because the genus is different from the Gentian. Therefore we tried an approach to make new kinds of development of the Gentian by cell fusion. And wemade experiments and considered the appropriate medium for cell fusion. Our purpose is to research two kinds of plant growth regulator rate and to make a new breeding develop.　We operated cell fusion in vitro and used two kinds of plant growth regulator, BA and 2,4-D.　In Eustoma, the callus formation in the test section contained one or two kinds of plant growth regulator was very good.　In Persian violet, callus formation in the test section contained two kinds of plant growth regulator was good.

Key word: Eustoma,Persian violet,callus,shoot,tissue culture

キーワード：トルコギキョウ，エキザカム，カルス，シュート，組織培養

1. はじめに

リンドウは，岩手県が生産量日本一の特産物である．その中で研究に用いたトルコギキョウ，エキザカムはリンドウ属植物にない耐暑性，繁殖性を持っている．しかしこれらとリンドウとの交雑はできない．これらの遺伝子を導入するために細胞融合などが考えられる．今回は植物体再生について基本的な知見を得るために葉片からのカルス形成，植物体再生に適した培地の検討を行った．

2. 研究方法

（１）材料

リンドウ科植物のトルコギキョウ（*Eustoma gramdifloum* (Raf) Shinn.）およびエキザカム（*Exacum affine* Balf.）を用いた．いずれの種子も（株）サカタのタネから購入した．

（２）方法

① 無菌播種方法

初めに，それぞれの種子を 70% エタノール（ツィーン 20 添加）で 1 分，10% ピューラックス（ツィーン 20 添加）で 30 分殺菌し，滅菌水で洗浄後，Murashige and Skoog（1962）処方の培地（以下 MS 培地と略す）に播種した．その後 25° C16 時間日長 8 時間暗黒の人工気象器内で育成した．

② 葉片培養

葉片を約 5mm×5mm の大きさに切りとり，1 シャーレ当たり 10 片ずつ移植し，合計 50 個置床した．また，葉片に形成されたカルスは，シュート形成用培地に 5～6 片ずつ移植した．カルスおよびシュートは，

無菌播種と同じ条件で人工気象器内において育成した．これを 1 週間ごとに観察した．

③　培地貯蔵液の作成

MS 処方の無機多量要素，微量要素，鉄源ビタミン類を Table.1 のとおり 1～6 に分けて，所定濃度の原液を作成した．MS1～5 はオートクレーブで殺菌を行い，冷めたら冷蔵庫で保存した．MS6 は 10ml ずつプラスチックの試験管に小分けし，冷蔵庫に保管した．これらを培地貯蔵液とした．

④ 植物成長調節物質の調節

a．オーキシン類

2,4 ジクロロフェノキシ酢酸（以下 2,4-D と略す） 1ml の 95% エタノールで溶かし，徐々に水を加えて溶した．

b．サイトカイニン類

ベンジルアデニン（以下 BA と略す）10mg を，1～2ml の 0.1mol/L の HCl に溶かし，暖めた蒸留水を添加し，100ml にメスアップした．

⑤ 培地の作成（MS 処方）

a．播種用培地の作成

1L のビーカーに蒸留水を 800ml 添加した． MS1～6 をメスピペットまたはメスシリンダで適量取り，ビーカーに添加した．ショ糖（ 30g/l ）をマグネチックスターラーで良く溶した．1L になるように蒸留水でメスアップした． pH を 5.8 に調整するために 0.1mol/L の NaOH および HCl を使用した．支持体としてジェランガム（ゲルライト）を 2g/l 添加し，撹拌棒でよくかき混ぜた．アルミホイルでふたをし，オートクレーブで 100° C で 10 分間ジェランガムをよく溶かした．培地は，培養ビン 1 本当たり 100ml ずつ分注した後，オートクレーブに 120° C，15 分 1.2atm 殺菌を行った．

b．カルス形成およびシュート形成用培地の作成

植物成長調節物質を Table．2 のとおり添加した培地をカルス形成用の場合 1 区あたりシャーレ 5 枚で 16 区分，シュート形成用の場合 1 区あたりシャーレ 5 枚で 4 区分作成した． pH を 5.8 に調整し，オートクレーブに 120° C，15 分殺菌を行った．その後クリーンベンチ内で分注した．Table.3 は，シュート形成誘導用培地の植物成長調節物質の組み合わせを表した。

3．実験結果

（ 1 ）実験 1 トルコギキョウ（ 1 回目）

Fig.1 はトルコギキョウのカルス形成率を表した．トルコギキョウはカルス形成が旺盛であり，5，6，7 および 14 区が顕著であった．特に 5 区ではシュート形成がみられた．しかし一部の試験区では，汚染の発生がみられ，サンプルが減った．シュート形成培地に移殖した後は， 5，6，11 および 13 区でシュート形成がみられた．特に 5 区で顕著にシュート形成が見られた（Fig.12）．

（ 2 ）実験 2 トルコギキョウ（ 2 回目）

すべての区でカルスが形成された 6 区はカルス形成率が 80%となっているが，実験途中で汚染が出たのが原因である．また，2 および 3 区で根の形成がみられた． Fig.2～3 はトルコギキョウのカルスの形成具合を +～+++（+：やや形成，++：普通，+++：良好）で表したものである．

（ 3 ）実験 3　エキザカム（ 1 回目）

11 区の 1 つの葉片のみにわずかなカルス形成がみられた．これを除いたすべての区の葉片が褐変し枯れた．したがって，シュート形成に移行することはできなかった．

（ 4 ）実験 4　エキザカム（ 2 回目）

Fig.4 は，置床後約 30 日目のエキザカムのカルス形成率を表したグラフである．特にカルス形成が高い区では，形成率が 80% を超えたのは 7, 8 および 11 区である．また，90% を超えた区は 10，12 および 16 区であった．Fig.13 はエキザカム葉片からのカルス形成の状況， Fig.5～7 は実験 2 のエキザカムのカルス形成率を +～+++（+：やや形成，++：普通，+++：良好） で表したものである．

4．考察

（ 1 ）実験 1 および 2

Fig.1 より，1 区の植物成長調節物質無添加区ではカルスが 100% 形成されている．Fig.2～Fig.3 より，葉片の周辺にカルスは形成された．しかし葉片全体に形成されたカル

スはわずかである．ほとんどの区では多くカルスが形成されていたことから，植物成長調節物質が 1 種類または 2 種類カルス形成には必要だと考えられる．また，Fig.3 より 6～16 区はカルスの形成率は，ほぼ同じである．しかしシュート形成に移行できるコンパクトなカルスは， 5，6 および 9 区のみで見られた．すなわちトルコギキョウのカルス形成に適した培地は BA が 0.5～1.0mg/l および 2,4-D が 0～0.5mg/l 添加した区が適していると考えられる．一方，カルス形成用培地でも一部の葉片にシュート形成が見られた．これは，シュート形成に必要な BA がカルス形成用培地にも含まれていたことが原因だと考えられる．

（ 2 ）実験 3 および実験 4

実験 3 でカルス形成が見られなかった原因は，播種後遅い時期の葉片を用いたこと，操作に不慣れであったことが考えられる．

実験 4 では，すべての区でカルス形成が行われた．実験 4 のそれぞれの試験区のその中でもシュート形成に移行できた区は 6，7 および 8 区であったことから．すなわち多くのカルスが形成された．しかし，それらの区がシュート形成に適しているとは限らないと考える．エキザカムでは，すべての区でカルス形成が見られた．しかし，増殖旺盛なカルス形成に適した培地は，2,4-D が 0.5～2.0mg/l ， BA が 0.5mg/l 添加してある区であった．このこととから 2,4-D と BA が共存している培地がカルス形成に適していると考えられる．

今後の課題点はトルコギキョウおよびエキザカムで，さらに実験を重ねカルス形成およびシュート形成のデータを多く取り再現性を得ることが上げられる．さらにそのデータを含め今回のデータと比較し考察を深めることが必要である．また，リンドウを用いたプロトプラストの培養および単離・細胞融合を行い，新種開発を検討したい．

5. 謝辞

本研究を行うに当たり様々な助言を頂いた岩手大学農学部付属寒冷地バイオフロンティア研究センター教授上村松生博士，ご指導いただいた本校教諭城守寛博士，前本校教諭高木香澄先生および本校猪股英美先生、英文添削をして頂いた鈴木淳一先生に感謝申し上げます．

6. 参考文献

（1）古川一，重松典宏，宮川知之　1988 トルコギキョウ無菌植物の根からの Shoot 形成　育雑（別 2）;172-173.

（2）川村泰史，吉原均，新居宏延 2006 様々な培養容器でのエキザカムのインビトロにおける生育と開花　徳島農研報 3;25-29.

（3）Murashige T. and Skoog F. 1962 A revised medium for rapid growth and bloassays with tobacco tissue cultures. Physiolgia Plantarum 15;473-497.

（4）首藤博敏 1994 トルコギキョウの組織培養による大量増殖 植物組織培養 11(1);76-77.

Table.1 Medium for Murashige and Skoog (1962)

Component	Chemicals	Amount/L	Amount/L
MS1	NH_4NO	82.5g	
	KNO_3	95.0g	
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	18.5g/1000ml	20ml
MS2	$CaCl_2$	22.0g/500ml	10ml
MS3	KH_2PO_4	8.5g/500ml	10ml
MS4	Na_2EDTA	3.73g	
	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	2.78g/1000ml	10ml
MS5	H_3BO_3	620mg	
	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	2.230mg	
	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	860mg	
	Kl	83mg	
	$NaMoO_4 \cdot 2H_2O$	25mg	
	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	2.5mg	
	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	2.5mg/1000ml	10ml
MS6	myo-inositol	5g	
	glycine	100mg	
	nicotinic acid	25mg	
	pyridoxic acid	25mg	
	thiamine acid	5mg/500ml	10ml

Table.2 Effect of growth regulators on callus induction from leaf explant of Eustoma

			2,4-D [1]				
			0	0.5	1.0	2.0	(mg/l)
	0	(mg/l)	1	2	3	4	区
B	0.5		5	6	7	8	
A	1.0		9	10	11	12	
	2.0		13	14	15	16	

1) 2,4 - dichlorophenoxyacetic acid

2) Benzyladenine

Five of petri dish per One test section (50 leaf explant)

Table.3 Effect of cytokinin on shoot induction from leaf-derived callus of Eustoma

	BA[1]				
	0	0.5	1.0	2.0	(mg/l)
	1	2	3	4	

1) Benzyladenine

Twe of petri dish per One test section (20 callus)

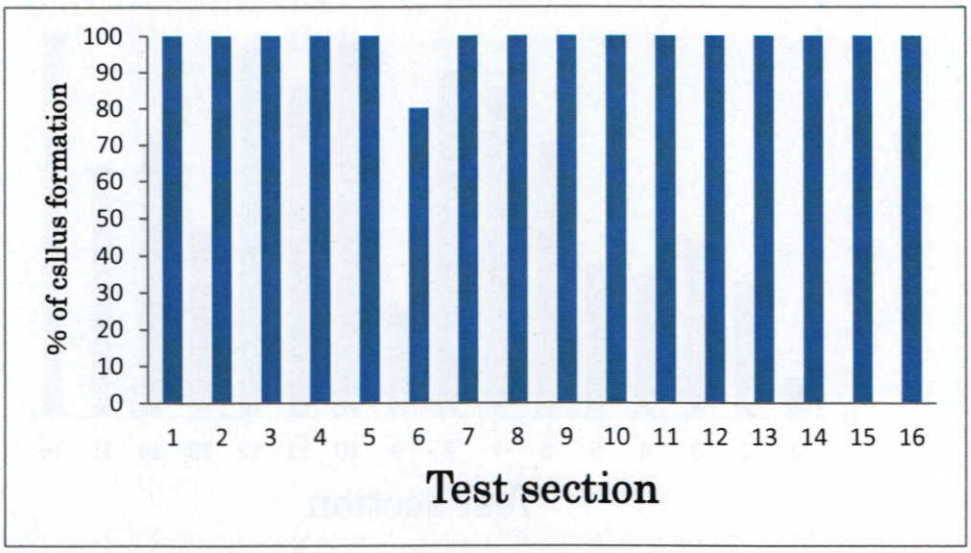


Fig.1 Effect of plant growth regulators on calls formation form leaf explant of Eustoma.

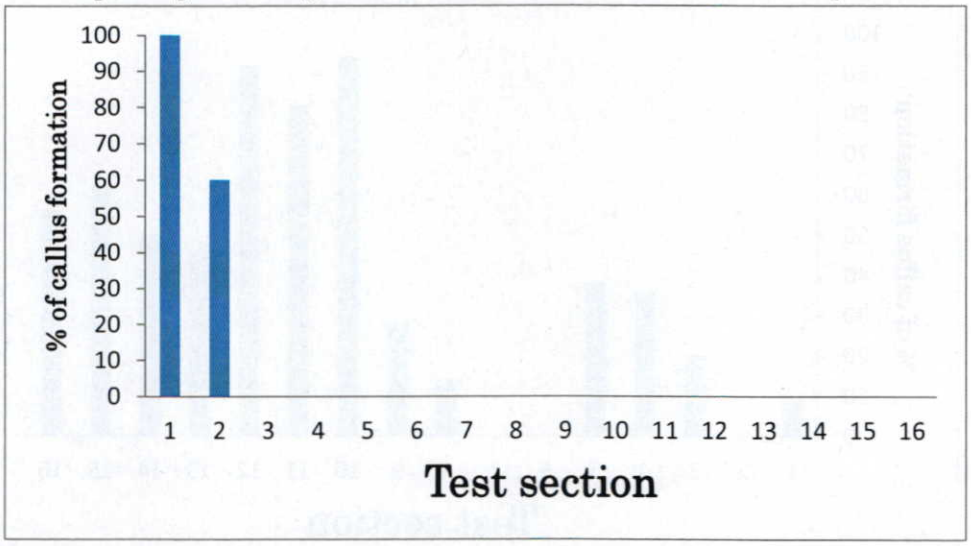


Fig.2 Effect of plant growth regulators on calls (+:slightly) formation form leaf explant of Eustoma.

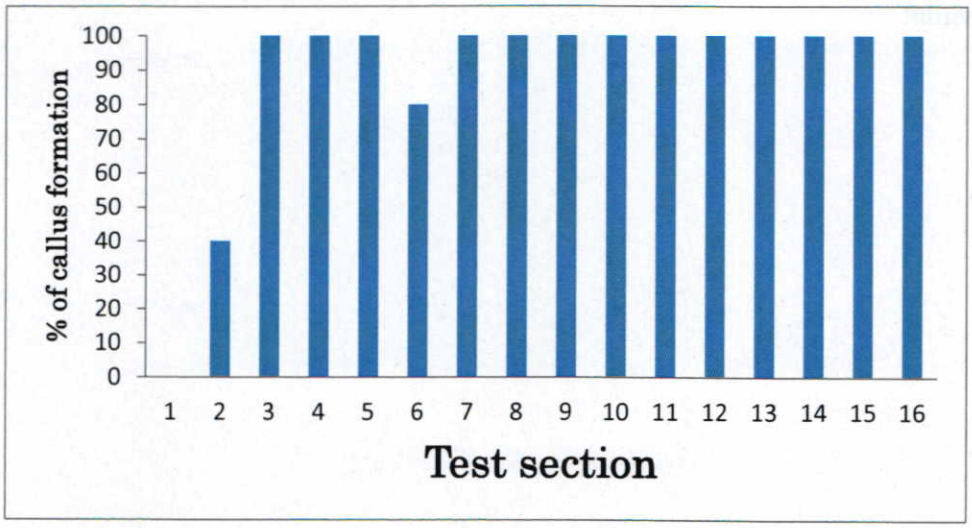


Fig.3 Effect of plant growth regulators on calls (++:normal) formation form leaf explant of Eustoma.

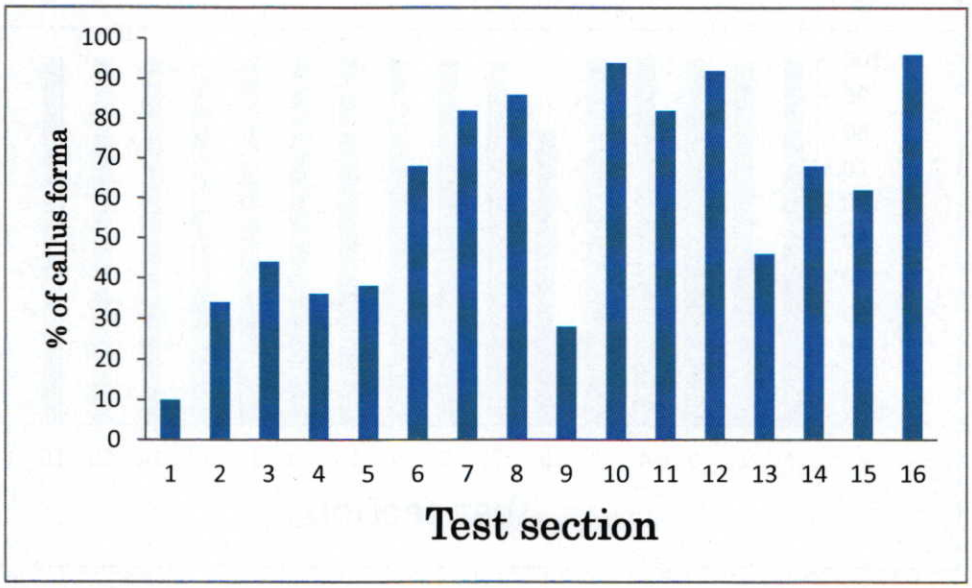


Fig.4 Effect of plant growth regulations on callus formation from leaf of Persian violet

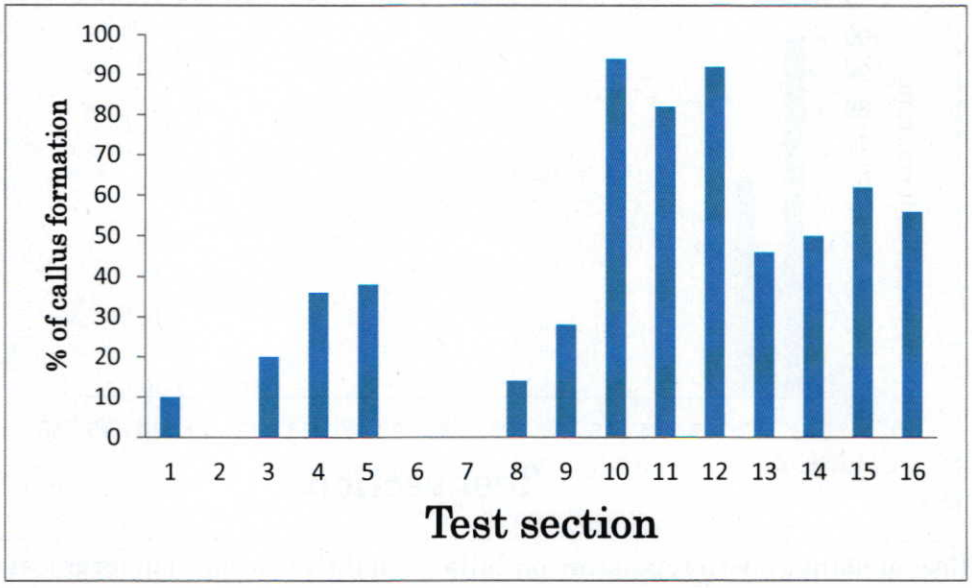


Fig.5 Effect of plant growth regulations on callus (+:slightly) formation from leaf of Persian violet

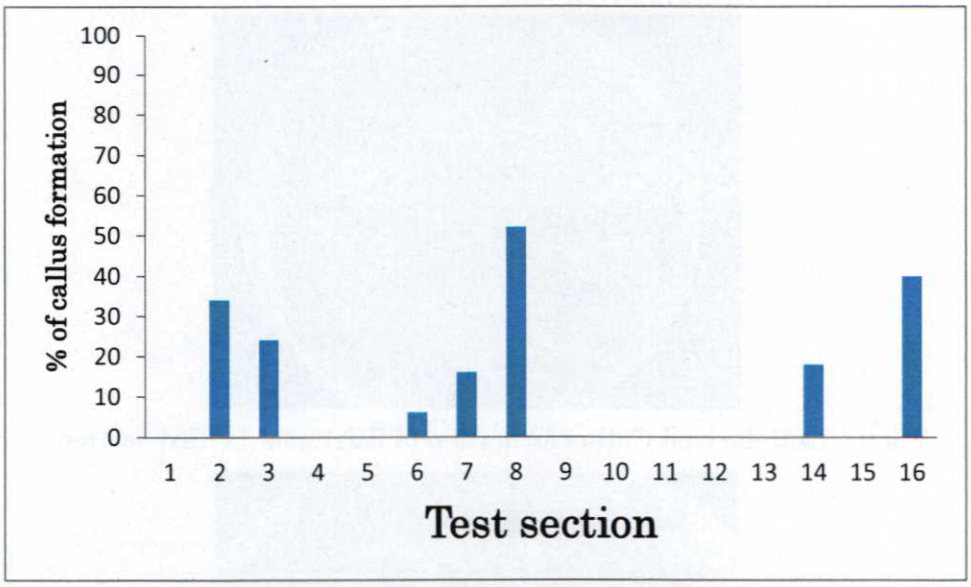


Fig.6 Effect of plant growth regulations on callus (++:normal) formation from leaf of Persian violet

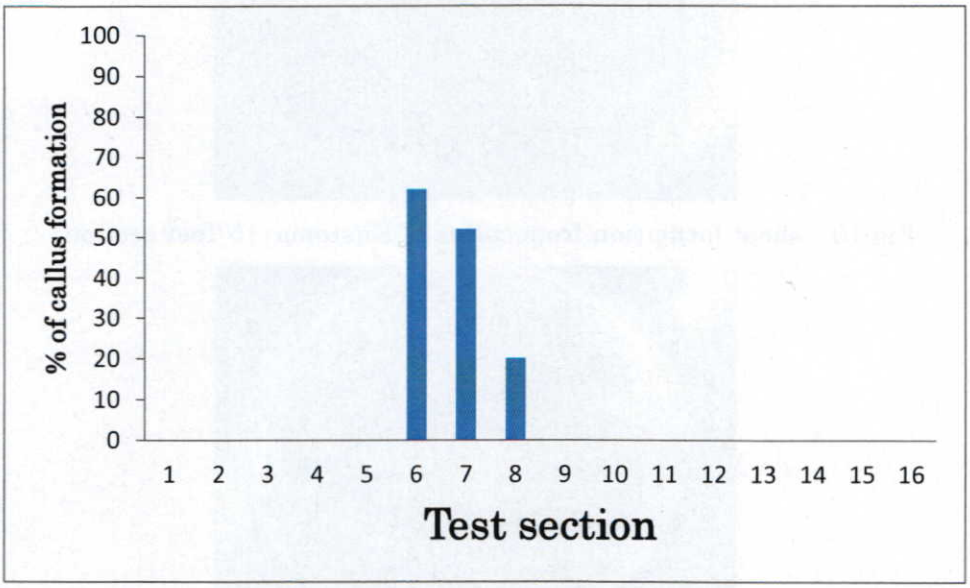


Fig.7 Effect of plant growth regulations on callus (+++:excellent) formation from leaf of Persian violet

Fig.8 Leaf-derived Callus formation of Eustoma (7 Test section)

Fig.9　Leaf-derived Callus formation of Eustoma（4 Test section）

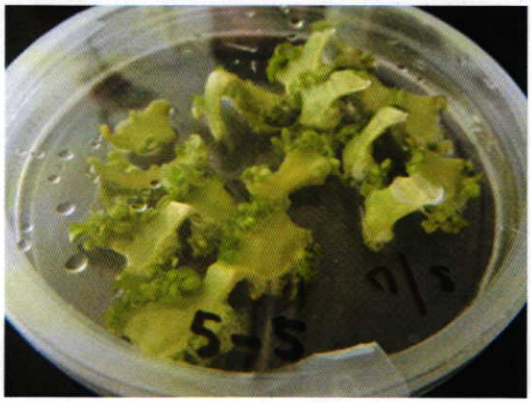


Fig.10　shoot formation from callus of Eustoma（5 Test section）

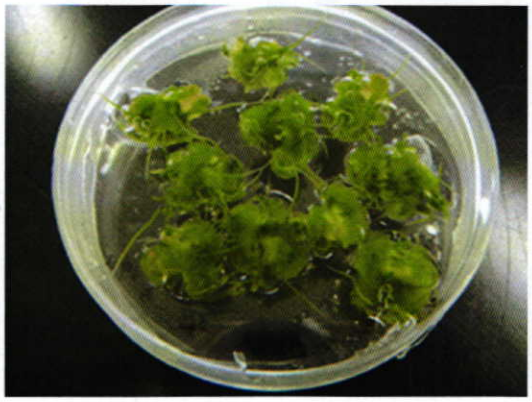


Fig.11　root formation from callus of Eustoma（2 Test section）

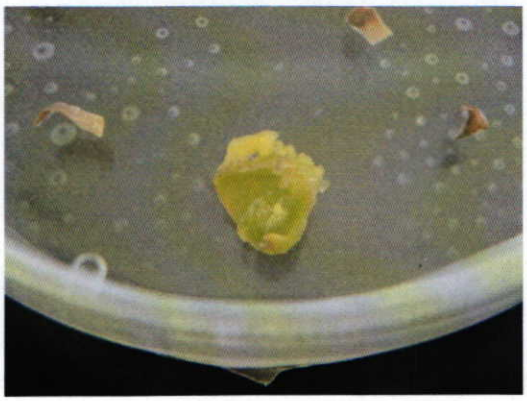


Fig.12　Leaf-derived Callus formation of Persian violet（2 Test section）

太陽光による紙の発火点の算出

岩手県立水沢高等学校理数科３年
上野雄大　佐藤廉　髙橋宏典　齋藤紅季　千田美穂

The ignition point of paper

Takehiro UENO,　Ren SATO,　Hironori TAKAHASHI,　Aki SAITO,　Miho CHIDA

ABSTRACT

When we expose a paper to sunlight directly, it doesn't catch fire. But it can catch fire when we converged the sunlight on it. We started our study because we thought it is possible to measure the ignition point of copy paper by using this phenomenon. After we measured the time until the paper catch fire and direct solar irradiance, we calculated the temperature increase in the copy paper. It was 400.1°C. At the beginning of the experiment, the temperature of paper was 20°C. So we estimate that the ignition point of the copy paper was 420.1°C. With our method, we managed to calculate the ignition point of the paper almost accurately. So it can be said that we could calculate the ignition point of the copy paper with our method.

Key words : direct solar irradiance, pyrheliometer

1. はじめに

紙を太陽の光に直接当てても発火することはないが，虫眼鏡で光を集めて当てると発火する。この現象を利用して，資料には見当たらなかったコピー用紙の発火点を調べることができるのではないかと思い研究を始めた。

紙の発火点はその紙の材質によって大きく異なる。そこで，コピー用紙と同じく紙である模造紙の発火点，450°C と近似した値になるのではないか，という仮説を立てた。

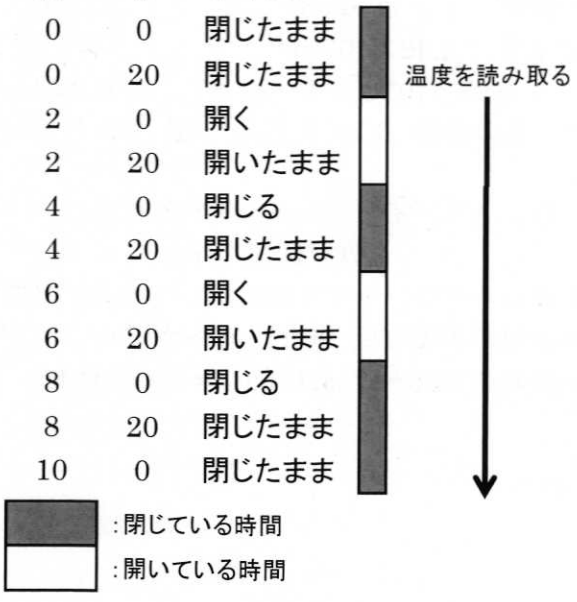
予備実験で，虫眼鏡で直径 3mm に集めた光を当てることによって紙を発火させることができた。

2. 研究方法

（１）五藤式直達日射計を用いて，晴れた日に 14 : 00 ～ 14 : 10 の 10 分間，水沢高校屋上での直達日射計の感知部の温度上昇を測定した。

計測開始から 20 秒後，120 秒後，140 秒後，240 秒後・・・という時間の繰返しで，シャッターを 4 回開閉する。その間に 10 回温度を読み取り記録し、その値をもとに直達日射量を算出した。

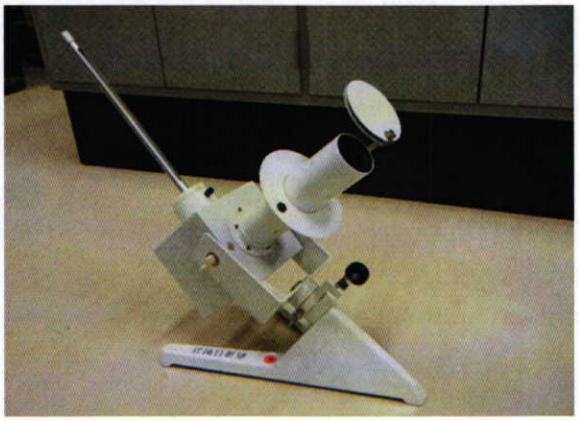
分	秒	シャッター
0	0	閉じたまま
0	20	閉じたまま
2	0	開く
2	20	開いたまま
4	0	閉じる
4	20	閉じたまま
6	0	開く
6	20	開いたまま
8	0	閉じる
8	20	閉じたまま
10	0	閉じたまま



上記は計測手順を表したものである。

（２）直達日射量の計測と並行して，次のような実験を行った。3mm 四方のコピー用紙の紙片に虫眼鏡で直径 3mm に集めた光を当て，発火するまでの時間をビデオで撮影する。その映像を解析し，紙片が発火するまでの時間を求める。使用した虫眼鏡は光学レンズ製で直径は 75mm である。光を当てる際，虫眼鏡と紙片を平行にして，集めた光と紙片が垂直になるようにした。光は，できるだけ正円に近づくようにして集めた。

実験で求めた値をもとに，使用したコピー用紙の発火点を計算によって求めた。



五藤式直達日射計

3. 実験結果

直達日射計を用いた測定により，水沢高校の屋上における直達日射量（ D ）は 827.4W／m^2 と求められた。

撮影した映像を解析すると，発火するまでの時間（ t ）は 0.08s であった。虫眼鏡の表面積（ $4.42\times10^{-3}m^2$ ）を S，紙片の質量（ $6.25\times10^{-4}g$ ）を m とし，参考文献より，紙の比熱 C は 1.17J／g･K であるとした。

以上より，紙の発火点を求める式は，

$$\Delta T = DSt / Cm$$

と置けるので，$\Delta T = 400.1K$ となる。実験前の紙片の温度は 20°C だったため，コピー用紙の発火点は 420.1°C と求められた。

4. 議論

コピー用紙の発火点について記載された文献がなかったため，模造紙の発火点と比較した。模造紙の発火点は 450°C であるから，計算で求めたコピー用紙の発火点は概ね正しい。精度の高い結果が得られたため，考案した計算式で発火点を求めることができると考えられる。

光を当てたときに紙片から空気中へ逃げた熱について考慮すること，発火までのより詳細な時間を測定するということが課題として残った。また，使用したコピー用紙の比熱を私たちで計測しようと試みたが，行うことができなかったため，すでにあるデータを引用した。比熱は紙の種類によって値が異なるため，使用した紙の比熱の正確な値を求める必要がある。

5. 結論

コピー用紙の発火点は 450°C になる，という仮説を立て本研究を行ったところ，使用したコピー用紙の発火点は 420.1°C になると分かった。

実験から，概ね正確な発火点を求めることができたので私たちの考案した計算方法を用いて発火点を求めることができたといえる。

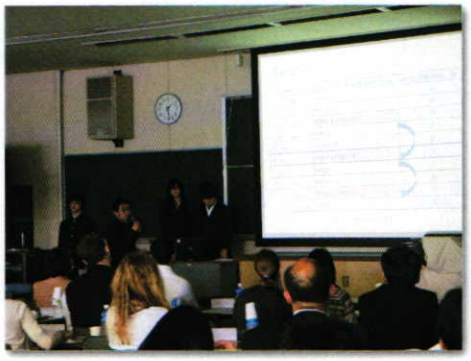
発火までの時間をより詳細な値まで求め，紙片から逃げた熱についても加味して計算を行うことで，より正確な発火点を求めることができると考えられる。そのために正確な時間を測定する方法と逃げた熱を求める方法を吟味していく必要がある。

謝辞

本研究に際し様々な助言をくださった先生方に感謝申し上げます。

参考文献

岡部拓也（ 2002 ）：熱学の基礎，内部エネルギー，定圧比熱，例：水と物質の比熱
http://jaguar.eng.shizuoka.ac.jp/lecture/chap/node37.html



C-100
2407
岩手県立水沢高等学校

CBR